


## Gas sensor

Patent Number: ☐ EP0849591  
Publication date: 1998-06-24  
Inventor(s): HAMADA YASUHIKO GLORIOUSHILLS (JP); KATO NOBUHIDE (JP)  
Applicant(s):: NGK INSULATORS LTD (JP)  
Requested Patent: ☐ JP10232220  
Application Number: EP19970309963 19971210  
Priority Number(s): JP19960341926 19961220; JP19970274218 19971007  
IPC Classification: G01N27/406  
EC Classification: G01N27/406C  
Equivalents: ☐ US6083370

### Abstract

Disclosed is a gas sensor comprising a main pumping cell (26) for pumping-processing oxygen contained in a measurement gas introduced into a first chamber (18), an auxiliary pumping cell (52) for pumping-processing oxygen contained in the measurement gas introduced into a second chamber (20), a measuring pumping cell (60) for pumping-processing oxygen in the measurement gas introduced via a third diffusion rate-determining section (58), an ammeter (64) for detecting a pumping current generated depending on an amount of oxygen pumping-processed by the measuring pumping cell (60), a heater (66) for heating at least the main pumping cell (26), the auxiliary pumping cell (52), and the measuring pumping cell (60) to a predetermined temperature, an impedance-detecting circuit (70) for detecting an impedance between an inner pumping electrode (22) and an auxiliary pumping electrode (50), and a heater control circuit (72) for controlling electric power application to the heater (66) on the basis of a value of the impedance detected by the impedance-detecting circuit (70). Accordingly, it is possible to realize suppression of variation in detection output which would be otherwise caused depending on the measurement gas temperature and a high S/N ratio of detection output. 

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10 - 232220

(43) 公開日 平成10年(1998)9月2日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
G 0 1 N 27/419

識別記号

F I  
G 0 1 N 27/46 3 2 7 Q

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L

(全 2 3 頁)

(21) 出願番号 特願平9-274218

(22) 出願日 平成9年(1997)10月7日

(31) 優先権主張番号 特願平8-341926

(32) 優先日 平8(1996)12月20日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004064

日本碍子株式会社

愛知県名古屋市長区須田町2番56号

(72) 発明者 加藤 伸秀

愛知県名古屋市長区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 濱田 安彦

愛知県名古屋市長区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

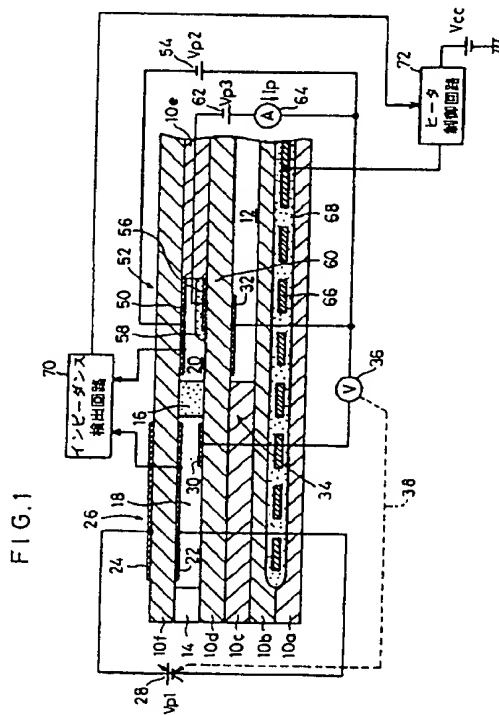
(74) 代理人 弁理士 千葉 剛宏 (外1名)

(54) 【発明の名称】 ガスセンサ

(57) 【要約】

【課題】 被測定ガス温度による検出出力の変動の抑圧と、検出出力の高 S/N 比を実現させる。

【解決手段】 第1室18に導入された被測定ガスに含まれる酸素をポンピング処理する主ポンプセル26と、第2室20に導入された被測定ガスに含まれる酸素をポンピング処理する補助ポンプセル52と、第3の拡散律速部58を通じて導入された被測定ガス中の酸素をポンピング処理する測定用ポンプセル60と、該測定用ポンプセル60によりポンピング処理される酸素の量に応じて生じるポンプ電流を検出する電流計64と、少なくとも主ポンプセル26、補助ポンプセル52及び測定用ポンプセル60を所定の温度に加熱するヒータ66と、内側ポンプ電極22と補助ポンプ電極50間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出回路70と、該インピーダンス検出回路70にて検出されたインピーダンス値に基づいてヒータ66への通電を制御するヒータ制御回路72を設けて構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】外部空間に接する固体電解質と、該固体電解質の内外に形成された内側ポンプ電極及び外側ポンプ電極とを有し、前記外部空間から導入された被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記電極間に印加される制御電圧に基づいてポンピング処理する主ポンプ手段と、

固体電解質と、該固体電解質に形成された検出電極と基準電極とを有し、前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記検出電極と前記基準電極間に印加される電圧に基づいてポンピング処理する測定用ポンプ手段と、

前記測定用ポンプ手段によりポンピング処理される前記所定のガス成分の量に応じて生じるポンプ電流を検出する電流検出手段と、

少なくとも前記主ポンプ手段及び測定用ポンプ手段を所定の温度に加熱するヒータと、

前記主ポンプ手段側の電極と前記測定用ポンプ手段側の電極間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出手段と、

前記インピーダンス検出手段にて検出されたインピーダンス値に基づいて前記ヒータへの通電を制御するヒータ制御手段を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項 2】請求項 1 記載のガスセンサにおいて、

前記インピーダンス検出手段でのインピーダンス検出の対象となる前記測定用ポンプ手段側の電極は、前記検出電極を除く電極であることを特徴とするガスセンサ。

【請求項 3】外部空間に接する固体電解質と、該固体電解質の内外に形成された内側ポンプ電極及び外側ポンプ電極とを有し、前記外部空間から導入された被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記電極間に印加される制御電圧に基づいてポンピング処理する主ポンプ手段と、

固体電解質と、該固体電解質に形成された検出電極と基準電極とを有し、前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスに含まれる前記所定のガス成分の量と前記基準電極側の基準ガスにおける前記所定のガス成分の量との差に応じた起電力を発生する濃度検出手段と、

前記濃度検出手段により発生する前記起電力を検出する電圧検出手段と、

少なくとも前記主ポンプ手段及び濃度検出手段を所定の温度に加熱するヒータと、

前記主ポンプ手段側の電極と前記濃度検出手段側の電極間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出手段と、

前記インピーダンス検出手段にて検出されたインピーダンス値に基づいて前記ヒータへの通電を制御するヒータ制御手段を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項 4】請求項 3 記載のガスセンサにおいて、

前記インピーダンス検出手段でのインピーダンス検出の対象となる前記濃度検出手段側の電極は、前記検出電極を除く電極であることを特徴とするガスセンサ。

【請求項 5】請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載のガスセンサにおいて、

前記主ポンプ手段でのポンピング処理時における前記被測定ガスに含まれる前記所定のガス成分の量と前記基準電極側の基準ガスにおける前記所定のガス成分の量との差に応じた起電力を発生する濃度測定手段と、

前記起電圧に基づいて、前記内側ポンプ電極と外側ポンプ電極間に印加される前記制御電圧のレベルを調整する主ポンプ制御手段を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項 6】請求項 5 記載のガスセンサにおいて、

前記濃度測定手段にて発生する起電力は、少なくとも前記主ポンプ手段の近傍に形成された測定電極と前記基準電極との間に発生する両端電圧であることを特徴とするガスセンサ。

【請求項 7】請求項 5 記載のガスセンサにおいて、

前記濃度測定手段にて発生する起電力は、少なくとも前記主ポンプ手段における内側ポンプ電極と前記基準電極との間の両端電圧であることを特徴とするガスセンサ。

【請求項 8】請求項 1～7 のいずれか 1 項に記載のガスセンサにおいて、

前記インピーダンス検出手段は、前記検出対象の電極間に交流を供給する交流発生回路と、

前記検出対象の電極間への交流供給によって該電極間に発生する該電極間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号を検出する信号検出回路を有し、

前記ヒータ制御手段は、前記インピーダンス検出手段における信号検出回路からの電圧信号のレベルと基準レベルとを比較する比較回路と、

前記比較回路での比較結果に基づいてヒータへの通電を ON/OFF 制御するスイッチング回路を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項 9】請求項 8 記載のガスセンサにおいて、

前記信号検出回路は、前記電極間に発生する交流信号を前記電極間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号に変換するフィルタ回路を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項 10】請求項 8 記載のガスセンサにおいて、

前記交流発生回路は、前記電極間のほか、該電極間の正規のインピーダンスに応じた抵抗値に設定された抵抗にも交流が供給されるように配線接続され、

前記信号検出回路は、前記電極間に発生する交流信号を前記電極間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号に変換する第 1 の検波回路と、

前記抵抗に発生する交流信号を該抵抗のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号に変換して参照信号とする第 2 の検波回路と、

前記第1の検波回路から出力される電圧信号と前記第2の検波回路から出力される参照信号との差分をとり偏差信号として出力する差分回路を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項11】請求項1～10のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、

前記インピーダンス検出手段は、前記主ポンプ手段におけるいずれかの電極と前記基準電極とのインピーダンスを検出することを特徴とするガスセンサ。

【請求項12】請求項1～11のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、

前記検出電極の近傍に形成された補助ポンプ電極を有し、前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記補助ポンプ電極と前記基準電極間に印加される電圧に基づいて前記ポンピング処理する補助ポンプ手段を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項13】請求項12記載のガスセンサにおいて、前記インピーダンス検出手段は、前記補助ポンプ電極と前記基準電極間のインピーダンスを検出することを特徴とするガスセンサ。

【請求項14】請求項12記載のガスセンサにおいて、前記インピーダンス検出手段は、前記主ポンプ手段におけるいずれかの電極と前記補助ポンプ電極間のインピーダンスを検出することを特徴とするガスセンサ。

【請求項15】請求項1～14のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、

前記主ポンプ手段は、固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ前記被測定ガスが導入される第1室の内外に形成された前記内側ポンプ電極及び外側ポンプ電極と、これら両電極にて挟まれた前記基体を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項16】請求項1、2、5～15のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、

前記測定用ポンプ手段は、固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスが導入される第2室内に形成された前記検出電極と、

固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ基準ガスが導入される基準ガス導入室に形成された前記基準電極と、前記検出電極と前記基準電極にて挟まれた前記基体を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項17】請求項3～15のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、

前記濃度検出手段は、固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスが導入される第2室内に形成された前記検出電極と、

固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ基準ガスが導入される基準ガス導入室に形成された前記基準電極と、

前記検出電極と前記基準電極にて挟まれた前記基体を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項18】請求項15～17のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、

前記外部空間における前記被測定ガスの前記第1室への導入経路に、前記被測定ガスに対して所定の拡散抵抗を付与する第1の拡散律速部が設けられ、

前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の前記被測定ガスの前記第2室への導入経路に、前記被測定ガスに対して所定の拡散抵抗を付与する第2の拡散律速部が設けられていることを特徴とするガスセンサ。

【請求項19】請求項18記載のガスセンサにおいて、前記第2室における前記被測定ガスの前記検出電極への進入経路に、前記被測定ガスに対して所定の拡散抵抗を付与する第3の拡散律速部が設けられていることを特徴とするガスセンサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、車両の排気ガスや大気中に含まれるNO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O等の酸化物や、CO、C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>等の可燃ガスを測定するガスセンサに関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、被測定ガス中の所望のガス成分の濃度を知るために、各種の測定方式や装置が提案されている。

【0003】例えば、燃焼ガス等の被測定ガス中のNO<sub>x</sub>を測定する方法としては、RhのNO<sub>x</sub>還元性を利用し、ジルコニア等の酸素イオン導伝性の固体電解質上にPt電極及びRh電極を形成してなるセンサを用いて、これら両電極間の起電力を測定するようにした手法が知られている。

【0004】前記のようなセンサは、被測定ガスである燃焼ガス中に含まれる酸素濃度の変化によって、起電力が大きく変化するばかりでなく、NO<sub>x</sub>の濃度変化に対して起電力変化が小さく、そのためにノイズの影響を受けやすいという問題がある。

【0005】また、NO<sub>x</sub>の還元性を引き出すためには、CO等の還元ガスが必須になることから、一般に大量のNO<sub>x</sub>が発生する燃料過少の燃焼条件下では、COの発生量がNO<sub>x</sub>の発生量を下回るようになるため、そのような燃焼条件下に形成される燃焼ガスでは測定ができないという欠点があった。

【0006】また、Pt電極と酸素イオン導伝性の固体電解質よりなる一組の電気化学的ポンプセルとセンサセル、及びRh電極と酸素イオン導伝性の固体電解質よりなるもう一組の電気化学的ポンプセルとセンサセルを組み合わせ、それぞれのポンプ電流値の差により、NO<sub>x</sub>を測定する方式が、特開昭63-38154号公報や特開昭64-39545号公報等に明らかにされている。

【0007】更に、特開平1-277751号公報や特開平2-1543号公報等には、一対の電気化学的ポンプセルとセンサセルを二組用意し、一方の組のポンプセルとセンサセルからなるセンサにて、NO<sub>x</sub>が還元されない酸素分圧下で限界ポンプ電流を測定すると共に、他方の組のポンプセルとセンサセルからなるセンサにて、NO<sub>x</sub>が還元される酸素分圧下で限界ポンプ電流を測定し、それら限界ポンプ電流の差を求めたり、一組のポンプセルとセンサセルからなるセンサを用い、被測定ガス中の酸素分圧をNO<sub>x</sub>が還元される酸素分圧と還元され得ない酸素分圧とに切り換えて、限界電流の差を測定する方法が提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記のようなガスセンサにおいては、その出力値に原理上、強い温度依存性があり、温度補償の必要がある。ガスセンサの温度とガスセンサの交流抵抗（インピーダンス）には相関関係があり、具体的には、ガスセンサの温度が上昇するに従ってガスセンサのインピーダンスは低下する。

【0009】そこで、従来から、ガスセンサの温度補償を行う手法として、ブリッジによる定抵抗制御方法が用いられている。この定抵抗制御方法は、被測定ガス温度に基づいてヒータの全抵抗（＝ヒータ発熱部の抵抗＋ヒータリード部の抵抗）を制御するものである。

【0010】この定抵抗制御方法は、前記のようにヒータの全抵抗を制御することから、被測定ガス温度の上昇に伴って、素子に内蔵されるヒータリード部の抵抗値が増加した場合、ヒータ発熱部の抵抗値を下げるように制御が行われ、これによって、ヒータの出力が低下するという現象が発生する。

【0011】この場合、所定ガス成分の検知部分における温度が、所定の設定値から逸脱し、ガスセンサの出力特性において、所定ガス成分の濃度に対する検出電流値のシフト現象、具体的には、検出電流値が、温度の上昇に伴って所定ガス成分の濃度に基づく規定の検出電流値よりも上昇し、検出精度が劣化するという不都合がある。

【0012】これを解決するためには、ヒータリード部の抵抗値を極力小さくする必要が生じ、配線設計の自由度が低下するという問題が生じていた。

【0013】また、従来では、前記定抵抗制御方法に代わるものとして、ガスセンサのインピーダンスを計測する手段とガスセンサのインピーダンスが一定となるようにヒータへの通電を制御するようにした電流制御装置を有するガスセンサが提案されている（例えば特開昭58-178248号公報参照）。これは、電源に交流分を重畳させ、それに伴うインピーダンスの検出回路を設け、インピーダンスが一定になるようにヒータに供給される電流を制御するというものである。

【0014】更に、従来では、検出されたインピーダン

スに基づくヒータの電流制御系（フィードバック制御系）での発振を防止するために、直流成分のみを正帰還させるようにしたガスセンサも提案されている（例えば実公平7-45004号公報参照）。

【0015】しかしながら、従来のヒータの電流制御系を有するガスセンサにおいては、所定ガス成分を検出するための検出電極に対して交流電流を流すようにしているため、該交流電流がノイズとして現れ、検出出力のS/N比を劣化させるおそれがある。

【0016】本発明は、このような課題を考慮してなされたものであり、被測定ガス温度による検出出力の変動を抑圧することができ、しかも、検出出力の高S/N比を実現させることができるガスセンサを提供することを目的とする。

【0017】また、本発明の他の目的は、前記条件に加えて、センサ素子内における主ポンプ手段側の温度と測定用ポンプ手段（あるいは濃度検出手段）側の温度をモニタすることができ、センサ素子内の温度を高精度に制御することができるガスセンサを提供することにある。

【0018】また、本発明の他の目的は、前記条件に加えて、センサ素子内の温度、特に検出電極近傍の温度を一定に、かつ高精度に制御することができ、検出出力の出力変動を更に抑えることができるガスセンサを提供することにある。

【0019】また、本発明の他の目的は、前記条件に加えて、制御回路系の簡略化を達成することができるガスセンサを提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の本発明に係るガスセンサは、外部空間に接する固体電解質と該固体電解質の内外に形成された内側ポンプ電極及び外側ポンプ電極とを有し、前記外部空間から導入された被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記電極間に印加される制御電圧に基づいてポンピング処理（汲み入れ、汲み出し）する主ポンプ手段と、固体電解質と該固体電解質に形成された検出電極と基準電極とを有し、前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記検出電極と前記基準電極間に印加される電圧に基づいてポンピング処理する測定用ポンプ手段と、前記測定用ポンプ手段によりポンピング処理される前記所定のガス成分の量に応じて生じるポンプ電流を検出する電流検出手段と、少なくとも前記主ポンプ手段及び測定用ポンプ手段を所定の温度に加熱するヒータと、前記主ポンプ手段側の電極と前記測定用ポンプ手段側の電極間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出手段と、前記インピーダンス検出手段にて検出されたインピーダンス値に基づいて前記ヒータへの通電を制御するヒータ制御手段を設けて構成する。

【0021】ここで、主ポンプ手段側の電極とは、主ポンプ手段を構成する電極のほか、該主ポンプ手段近傍の

電極を含む。また、測定用ポンプ手段側の電極とは、測定用ポンプ手段を構成する電極のほか、該測定用ポンプ手段近傍の電極を含む。

【0022】これにより、まず、外部空間から導入された被測定ガスのうち、所定のガス成分が主ポンプ手段によってポンピング処理され、該所定のガス成分は所定濃度に調製される。

【0023】前記主ポンプ手段にて所定のガス成分の濃度が調製された被測定ガスは、次の測定用ポンプ手段に導かれる。測定用ポンプ手段は、検出電極と基準電極間に印加される電圧に基づいて、前記被測定ガスのうち、所定のガス成分をポンピング処理する。前記測定用ポンプ手段によりポンピング処理される前記所定のガス成分の量に応じて該測定用ポンプ手段に生じるポンプ電流が電流検出手段にて検出される。この検出値に基づいて被測定ガス中の特定成分量が求められることとなる。

【0024】前記検出動作は、ヒータによって少なくとも前記主ポンプ手段及び測定用ポンプ手段が所定の温度に加熱されて行われることから、測定用ポンプ手段による所定成分量の検出が高精度に行われる。

【0025】そして、前記動作が行われている間に、インピーダンス検出手段を通じて、前記主ポンプ手段側の電極と前記測定用ポンプ手段側の電極間のインピーダンス値が検出され、更に、ヒータ制御手段を通じて前記検出されたインピーダンス値に基づいてヒータへの通電が制御される。

【0026】具体的には、被測定ガス温度が所定温度よりも上昇して前記インピーダンス値が低下すると、ヒータへの通電量を減らすように制御、あるいはヒータへの通電を停止する。これにより、センサ素子内の温度は徐々に低下することとなる。

【0027】反対に、被測定ガス温度が所定温度よりも下降して前記インピーダンス値が上昇すると、ヒータへの通電量を増加するように制御、あるいはヒータへの通電を開始する。これにより、センサ素子内の温度は徐々に上昇することとなる。このようにヒータへの通電制御をインピーダンス値に基づいて行うことにより、センサ素子内の温度を一定に保つことが可能となる。

【0028】従って、従来の定抵抗制御方法と比較すると、ヒータリード部の抵抗値とヒータ発熱部の抵抗値との抵抗比率を厳密に作製する必要性がなくなると共に、被測定ガス温度のヒータリード部の抵抗値増加による影響を回避することができる。

【0029】特に、本発明では、前記主ポンプ手段側の電極と前記測定用ポンプ手段側の電極間のインピーダンス値を検出するようにしているため、センサ素子内における主ポンプ手段側の温度と測定用ポンプ手段側の温度をモニタすることができ、これにより、センサ素子内の温度を高精度に制御することができる。

【0030】そして、前記構成において、前記インピー

ダンス検出手段でのインピーダンス検出の対象となる前記測定用ポンプ手段側の電極として、前記検出電極を除く電極とすることが好ましい（請求項2記載の発明）。この場合、測定用ポンプ手段に印加される電圧がインピーダンス検出のために変動するということがなくなり、電流検出手段を通じて検出されるポンプ電流のゆらぎやノイズの重畳等を抑圧することができる。

【0031】つまり、本発明に係るガスセンサにおいては、被測定ガス温度による検出出力の変動を抑圧することができ、しかも、検出出力の高S/N比を実現させることができる。

【0032】次に、請求項3記載の本発明に係るガスセンサは、外部空間に接する固体電解質と該固体電解質の内外に形成された内側ポンプ電極及び外側ポンプ電極とを有し、前記外部空間から導入された被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記電極間に印加される制御電圧に基づいてポンピング処理する主ポンプ手段と、固体電解質と該固体電解質に形成された検出電極と基準電極とを有し、前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスに含まれる前記所定のガス成分の量と前記基準電極側の基準ガスにおける前記所定のガス成分の量との差に応じた起電力を発生する濃度検出手段と、前記濃度検出手段により発生する前記起電力を検出する電圧検出手段と、少なくとも前記主ポンプ手段及び濃度検出手段を所定の温度に加熱するヒータと、前記主ポンプ手段側の電極と前記濃度検出手段側の電極間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出手段と、前記インピーダンス検出手段にて検出されたインピーダンス値に基づいて前記ヒータへの通電を制御するヒータ制御手段を設けて構成する。

【0033】ここで、濃度検出手段側の電極とは、濃度検出手段を構成する電極のほか、濃度検出手段近傍の電極を含む。

【0034】これにより、まず、外部空間から導入された被測定ガスのうち、所定のガス成分が主ポンプ手段によってポンピング処理され、該所定のガス成分は所定濃度に調製される。

【0035】前記主ポンプ手段にて所定のガス成分の濃度が調整された被測定ガスは、次の濃度検出手段に導かれ、該濃度検出手段において、前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスに含まれる前記所定のガス成分の量と基準電極側の基準ガスにおける所定のガス成分の量との差に応じた起電力が発生する。

【0036】この起電力は後段の電圧検出手段を通じて検出され、この検出値に基づいて被測定ガス中の特定成分量が求められることとなる。

【0037】前記検出動作は、ヒータによって少なくとも前記主ポンプ手段及び濃度検出手段が所定の温度に加熱されて行われることから、濃度検出手段による所定ガス成分の量の検出（起電力の発生）が高精度に行われ

る。

【0038】そして、前記動作が行われている間に、インピーダンス検出手段を通じて、前記主ポンプ手段側の電極と前記濃度検出手段側の電極間のインピーダンス値が検出され、更に、ヒータ制御手段を通じて前記検出されたインピーダンス値に基づいてヒータへの通電が制御される。このようにヒータへの通電制御をインピーダンス値に基づいて行うことにより、センサ素子内の温度を一定に保つことが可能となる。

【0039】この請求項3記載の発明においても、前記主ポンプ手段側の電極と前記測定用ポンプ手段側の電極間のインピーダンス値を検出するようにしているため、センサ素子内における主ポンプ手段側の温度と測定用ポンプ手段側の温度をモニタすることができ、これにより、センサ素子内の温度を高精度に制御することができる。

【0040】そして、前記構成において、前記インピーダンス検出手段でのインピーダンス検出の対象となる前記濃度検出手段側の電極として、前記検出電極を除く電極とすることが好ましい（請求項4記載の発明）。この場合、濃度検出手段において発生する起電力がインピーダンス検出のために変動するということがなくなり、電圧検出手段を通じて検出される前記起電力（電圧）のゆらぎやノイズの重畳等を抑圧することができる。

【0041】つまり、本発明に係るガスセンサにおいても、請求項2記載の発明と同様に、被測定ガス温度による検出出力の変動を抑圧することができ、しかも、検出出力の高S/N比を実現させることができる。

【0042】そして、前記請求項1～4のいずれか1項に記載の発明において、前記主ポンプ手段でのポンピング処理時における前記被測定ガスに含まれる前記所定のガス成分の量と前記基準電極側の基準ガスにおける前記所定のガス成分の量との差に応じた起電力を発生する濃度測定手段と、前記起電圧に基づいて、前記内側ポンプ電極と外側ポンプ電極間に印加される前記制御電圧のレベルを調整する主ポンプ制御手段を設けるようにしてもよい（請求項5記載の発明）。

【0043】これにより、前記濃度測定手段において、前記主ポンプ手段でのポンピング処理時における前記被測定ガスに含まれる前記所定のガス成分の量と前記基準電極側の基準ガスにおける前記所定のガス成分の量との差に応じた起電力が発生する。主ポンプ制御手段を通じて、前記起電力に基づいて、前記主ポンプ手段における内側ポンプ電極と外側ポンプ電極間に印加される制御電圧のレベルが調整される。

【0044】主ポンプ手段は、外部空間から導入された被測定ガスのうち、所定のガス成分を制御電圧のレベルに応じた量ほどポンピング処理する。前記レベル調整された制御電圧の主ポンプ手段への供給によって、前記被測定ガスにおける前記所定のガス成分の濃度は、所定レ

ベルにフィードバック制御されることとなる。

【0045】この場合、前記濃度測定手段にて発生する起電力としては、少なくとも前記主ポンプ手段の近傍に形成された測定電極と前記基準電極との間に発生する両端電圧（請求項6記載の発明）、あるいは少なくとも前記主ポンプ手段における内側ポンプ電極と前記基準電極との間の両端電圧である（請求項7記載の発明）。

【0046】特に、前記請求項7記載の発明においては、主ポンプ手段による前記所定のガス成分のポンピング量が増加して、被測定ガス中の前記所定のガス成分の濃度が増加すると、主ポンプ手段における内側電極と基準電極間の両端電圧が時間遅れなく変化するため、前記フィードバック制御に発振現象は生じなくなる。

【0047】また、前記構成において、前記インピーダンス検出手段として、前記検出対象の電極間に交流を供給する交流発生回路と、該検出対象の電極間への交流供給によって該電極間に発生する該電極間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号を検出する信号検出回路とを有するようにし、更に、前記ヒータ制御手段として、前記インピーダンス検出手段における信号検出回路からの電圧信号のレベルと基準レベルとを比較する比較回路と、前記比較回路での比較結果に基づいてヒータへの通電をON/OFF制御するスイッチング回路を設けるようにしてもよい（請求項8記載の発明）。

【0048】これにより、まず、インピーダンス検出手段における交流供給回路を通じて前記検出対象の電極間に交流が供給され、この交流供給によって前記電極間に発生する該電極間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号が信号検出回路を通じて検出される。該信号検出回路にて検出された電圧信号は、後段のヒータ制御手段に供給される。このヒータ制御手段においては、まず、比較回路において、前記供給された電圧信号のレベルと基準レベルとが比較される。そして、この比較回路での比較結果は後段のスイッチング回路に供給される。スイッチング回路は、供給された前記比較結果に基づいてヒータへの通電を制御する。

【0049】具体的には、被測定ガス温度の上昇に伴って、前記検出電極を除く電極間のインピーダンスが低下して、前記比較結果が例えば「電圧信号のレベルが基準レベルよりも低い」を示す場合、スイッチング回路はヒータへの通電を停止する。これにより、センサ素子内の温度は徐々に低下することとなる。

【0050】反対に、被測定ガス温度の下降に伴って、前記電極間のインピーダンスが増加して、前記比較結果が例えば「電圧信号のレベルが基準レベルよりも高い」を示す場合、スイッチング回路はヒータへの通電を開始する。これにより、センサ素子内の温度は徐々に上昇することとなる。

【0051】前記動作が行われることによって、センサ素子内の温度は迅速に一定温度に収束されることにな



る。

【0052】また、前記構成において、前記信号検出回路に、前記電極間に発生する交流信号を前記電極間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号に変換するフィルタ回路を設けるようにしてもよい（請求項9記載の発明）。このフィルタ回路として、例えばローパスフィルタやバンドパスフィルタを用いることができる。

【0053】また、前記構成において、前記交流発生回路を、前記電極間のほか、該電極間の正規のインピーダンスに応じた抵抗値に設定された抵抗にも交流が供給されるように配線接続し、前記信号検出回路として、前記電極間に発生する交流信号を前記電極間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号に変換する第1の検波回路と、前記抵抗に発生する交流信号を該抵抗のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号に変換して参照信号とする第2の検波回路と、前記第1の検波回路から出力される電圧信号と前記第2の検波回路から出力される参照信号との差分をとり偏差信号として出力する差分回路を設けるようにしてもよい（請求項10記載の発明）。

【0054】これにより、まず、インピーダンス検出手段における交流供給回路を通じて前記検出電極を除く電極間に交流が供給されると同時に、前記電極間の正規のインピーダンスに応じた抵抗値に設定された抵抗にも交流が供給される。

【0055】前記電極間への交流供給によって、該電極間に発生する交流信号が第1の検波回路に供給されて、前記電極間のインピーダンスに応じたレベルの例えば直流の電圧信号に変換される。一方、前記抵抗への交流供給によって、該抵抗に発生する交流信号が第2の検波回路に供給されて、前記抵抗のインピーダンスに応じたレベルの例えば直流の電圧信号（参照信号）に変換される。

【0056】そして、前記第1の検波回路から出力される電圧信号と前記第2の検波回路から出力される参照信号は共に差分回路に供給され、該差分回路は、前記電圧信号と参照信号との差分をとり偏差信号として出力する。

【0057】前記差分回路から出力される偏差信号、特にその偏差レベルは、後段のヒータ制御手段における比較回路において基準レベルと比較される。そして、前記偏差レベルが例えば基準レベルよりも低ければ、例えばヒータへの通電が停止され、反対に、前記偏差レベルが例えば基準レベルよりも高ければ、ヒータへの通電が開始される。

【0058】この場合、目標のインピーダンス値を抵抗（純抵抗）にて設定するようにしているため、交流信号を電圧信号に変換する第1及び第2の検波回路として、オペアンプを用いた高次のローパスフィルタやバンドパスフィルタのような複雑な回路構成を有する回路デバイスをを用いる必要がなくなり、簡単な例えば1次のCRロー

ーパスフィルタやダイオードを用いた整流回路を用いることで実現でき、回路構成の簡略化及び消費電力の低減を有効に達成させることができる。

【0059】また、前記構成において、前記検出電極の近傍に形成された補助ポンプ電極を有し、前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記補助ポンプ電極と前記基準電極間に印加される電圧に基づいて前記ポンピング処理する補助ポンプ手段を設けるようにしてもよい（請求項12記載の発明）。

【0060】これにより、まず、主ポンプ手段にて所定のガス成分が所定濃度に粗調整された被測定ガスは、更に補助ポンプ手段によって所定のガス成分の濃度が微調整される。前記動作が行われている間に、外部空間における被測定ガス中の所定ガス成分の濃度が大きく（例えば0から20%）変化すると、主ポンプ手段に導かれる被測定ガスの所定ガス成分の濃度分布が大きく変化し、測定用ポンプ手段あるいは濃度検出手段に導かれる所定ガス成分量も変化する。

【0061】主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスにおける所定ガス成分の濃度は、補助ポンプ手段でのポンピング処理にて微調整されることになるが、主ポンプ手段でのポンピング処理によって、前記補助ポンプ手段に導かれる被測定ガス中の所定ガス成分の濃度変化は、外部空間からの被測定ガス（主ポンプ手段に導かれる被測定ガス）における所定ガス成分の濃度変化よりも大幅に縮小されるため、測定用ポンプ手段における検出電極近傍あるいは濃度検出手段における検出電極近傍での所定ガス成分の濃度を精度よく一定に制御することができる。

【0062】従って、測定用ポンプ手段あるいは濃度検出手段に導かれる所定ガス成分の濃度は、前記被測定ガス（主ポンプ手段に導かれる被測定ガス）における所定ガス成分の濃度変化の影響を受け難くなり、その結果、電流検出手段にて検出されるポンプ電流値あるいは電圧検出手段にて検出される起電力は、前記被測定ガスにおける所定ガス成分の濃度変化に影響されず、被測定ガス中に存在する目的成分量に正確に対応した値となる。

【0063】そして、前記インピーダンス検出手段にて検出される前記検出電極を除く電極間のインピーダンスとしては、例えば前記主ポンプ手段におけるいずれかの電極（内側ポンプ電極又は外側ポンプ電極）と前記基準電極とのインピーダンスでもよい（請求項11記載の発明）、前記補助ポンプ手段における補助ポンプ電極と前記基準電極間のインピーダンスでもよい（請求項13記載の発明）。その他、前記主ポンプ手段におけるいずれかの電極と前記補助ポンプ電極間のインピーダンスを検出するようにしてもよい（請求項14記載の発明）。

【0064】特に、前記請求項13及び請求項14記載の発明においては、センサ素子内における検出電極近傍

10

20

30

40

50



の温度をより高精度に制御することができるため、被測定ガス温度による検出力（ポンプ電流値あるいは起電力）の変動を有効に抑圧することができ、ガスセンサの検出精度の向上並びに信頼性の向上を実現させることができる。

【0065】なお、前記主ポンプ手段は、固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ前記被測定ガスが導入される第1室の内外に形成された前記内側ポンプ電極及び外側ポンプ電極と、これら両電極にて挟まれた前記基体にて構成することができる（請求項15記載の発明）。

【0066】また、前記測定用ポンプ手段は、固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスが導入される第2室内に形成された前記検出電極と、固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ基準ガスが導入される基準ガス導入室に形成された前記基準電極と、前記検出電極と前記基準電極にて挟まれた前記基体にて構成することができる（請求項16記載の発明）。

【0067】また、前記濃度検出手段は、固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスが導入される第2室内に形成された前記検出電極と、固体電解質からなる基体にて囲まれ、かつ基準ガスが導入される基準ガス導入室に形成された前記基準電極と、前記検出電極と前記基準電極にて挟まれた前記基体にて構成することができる（請求項17記載の発明）。

【0068】更に、前記構成において、前記外部空間における前記被測定ガスの前記第1室への導入経路に、前記被測定ガスに対して所定の拡散抵抗を付与する第1の拡散律速部を設け、前記主ポンプ手段にてポンピング処理された後の前記被測定ガスの前記第2室への導入経路に、前記被測定ガスに対して所定の拡散抵抗を付与する第2の拡散律速部を設けるようにしてもよい（請求項18記載の発明）。

【0069】また、前記第2室における前記被測定ガスの前記検出電極への進入経路に、前記被測定ガスに対して所定の拡散抵抗を付与する第3の拡散律速部を設けるようにしてもよい（請求項19記載の発明）。

【0070】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るガスセンサを例えば車両の排気ガスや大気中に含まれるNO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O等の酸化物や、CO、C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>等の可燃ガスを測定するガスセンサに適用したいくつかの実施の形態例を図1～図17を参照しながら説明する。

【0071】まず、第1の実施の形態に係るガスセンサは、図1に示すように、ZrO<sub>2</sub>等の酸素イオン導伝性固体電解質を用いたセラミックからなる例えば6枚の固体電解質層10a～10fが積層されて構成され、下から1層目及び2層目が第1及び第2の基板層10a及び

10bとされ、下から3層目及び5層目が第1及び第2のスペーサ層10c及び10eとされ、下から4層目及び6層目が第1及び第2の固体電解質層10d及び10fとされている。

【0072】具体的には、第2の基板層10b上に第1のスペーサ層10cが積層され、更に、この第1のスペーサ層10c上に第1の固体電解質層10d、第2のスペーサ層10e及び第2の固体電解質層10fが順次積層されている。

【0073】第2の基板層10bと第1の固体電解質層10dとの間には、酸化物測定の基準となる基準ガス、例えば大気が入力される空間（基準ガス導入空間12）が、第1の固体電解質層10dの下面、第2の基板層10bの上面及び第1のスペーサ層10cの側面によって区画、形成されている。

【0074】また、第1及び第2の固体電解質層10d及び10f間に第2のスペーサ層10eが挟設されると共に、第1及び第2の拡散律速部14及び16が挟設されている。

【0075】そして、第2の固体電解質層10fの下面、第1及び第2の拡散律速部14及び16の側面並びに第1の固体電解質層10dの上面によって、被測定ガス中の酸素分圧を調整するための第1室18が区画、形成され、第2の固体電解質層10fの下面、第2の拡散律速部16の側面、第2のスペーサ層10eの側面並びに第1の固体電解質層10dの上面によって、被測定ガス中の酸素分圧を微調整し、更に被測定ガス中の酸化物、例えば窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）を測定するための第2室20が区画、形成される。

【0076】外部空間と前記第1室20は、第1の拡散律速部14を介して連通され、第1室18と第2室20は、前記第2の拡散律速部16を介して連通されている。

【0077】ここで、前記第1及び第2の拡散律速部14及び16は、第1室18及び第2室20にそれぞれ導入される被測定ガスに対して所定の拡散抵抗を付与するものであり、例えば、被測定ガスを導入することができる多孔質材料又は所定の断面積を有した小孔からなる通路として形成することができる。

【0078】特に、第2の拡散律速部16内には、ZrO<sub>2</sub>等からなる多孔質体が充填、配置されて、前記第2の拡散律速部16の拡散抵抗が前記第1の拡散律速部14における拡散抵抗よりも大きくされている。

【0079】そして、前記第2の拡散律速部16を通じて、第1室18内の雰囲気ガスが所定の拡散抵抗の下に第2室20内に導入される。

【0080】また、前記第2の固体電解質層10fの下面のうち、前記第1室18を形づくる下面全面に、平面ほぼ矩形状の多孔質サーメット電極からなる内側ポンプ電極22が形成され、前記第2の固体電解質層10fの

上面のうち、前記内側ポンプ電極 22 に対応する部分に、外側ポンプ電極 24 が形成されており、これら内側ポンプ電極 22、外側ポンプ電極 24 並びにこれら両電極 22 及び 24 間に挟まれた第 2 の固体電解質層 10 f にて電気化学的なポンプセル、即ち、主ポンプセル 26 が構成されている。

【0081】そして、前記主ポンプセル 26 における内側ポンプ電極 22 と外側ポンプ電極 24 間に、外部の可変電源 28 を通じて所望の制御電圧（ポンプ電圧） $V_p1$  を印加して、外側ポンプ電極 24 と内側ポンプ電極 22 間に正方向あるいは負方向にポンプ電流を流すことにより、前記第 1 室 18 内における雰囲気中の酸素を外部空間に汲み出し、あるいは外部空間の酸素を第 1 室 18 内に汲み入れることができるようになっている。

【0082】また、前記第 1 の固体電解質層 10 d の上面のうち、前記第 1 室 18 を形づくる上面であって、かつ第 2 の拡散律速部 16 に近接する部分に、平面ほぼ矩形状の多孔質サーメット電極からなる測定電極 30 が形成され、前記第 1 の固体電解質層 10 d の下面のうち、基準ガス導入空間 12 に露呈する部分に基準電極 32 が形成されており、これら測定電極 30、基準電極 32 及び第 1 の固体電解質層 10 d によって、電気化学的なセンサセル、即ち、酸素分圧検出セル 34 が構成されている。

【0083】この酸素分圧検出セル 34 は、第 1 室 18 内の雰囲気と基準ガス導入空間 12 内の基準ガス（大気）との間の酸素濃度差に基づいて、測定電極 30 と基準電極 32 との間に発生する起電力を電圧計 36 にて測定することにより、前記第 1 室 18 内の雰囲気中の酸素分圧が検出できるようになっている。

【0084】検出された酸素分圧値は可変電源 28 をフィードバック制御するために使用され、具体的には、第 1 室 18 内の雰囲気中の酸素分圧が、次の第 2 室 20 において酸素分圧の制御を行い得るのに十分な低い所定の値となるように、主ポンプセル 26 のポンプ動作が制御される。

【0085】このフィードバック制御を行う回路系（フィードバック制御系）38 は、具体的には、図 2 に示すように、測定電極 30 の電位と接地電位との差（測定電圧  $V_a$ ）と、基準電極 32 の電位と接地電位との差（基準電圧  $V_b$ ）との差分をとり、所定のゲインにて増幅して出力する第 1 の差動増幅器 40 と、該第 1 の差動増幅器 40 の出力と参照電圧  $V_c$  との差分をとり、所定のゲインにて増幅して出力する第 2 の差動増幅器 42 と、該第 2 の差動増幅器 42 の出力を所定のゲインにて増幅する 1 段あるいは多段の増幅器 44 にて構成された信号増幅系 46 を有して構成されている。この場合、信号増幅系 46 の出力が主ポンプセル 26 の外側ポンプ電極 24 に供給されるように配線接続され、内側ポンプ電極 22 は接地とされる。

【0086】これによって、まず、被測定ガスが第 1 の拡散律速部 14 を通じて第 1 室 18 に導入され、そのときの測定電圧  $V_a$  と基準電圧  $V_b$  が第 1 の差動増幅器 40 に供給され、該第 1 の差動増幅器 40 からは前記測定電圧  $V_a$  と基準電圧  $V_b$  との差分電圧  $V_d$  が出力される。この差分電圧  $V_d$  は、後段の第 2 の差動増幅器 42 の例えば反転端子に印加される。この第 2 の差動増幅器 42 においては、反転端子に供給される前記差分電圧  $V_d$  と非反転端子に供給される参照電圧  $V_c$  との差分がとられ、その出力端子からは、その差分を所定のゲインにて増幅された電圧信号  $V_e$  が出力される。そして、この電圧信号  $V_e$  は、後段の信号増幅系 46 にて所定のゲインにて増幅されてポンプ電圧  $V_p1$  として主ポンプセル 26 の外側ポンプ電極 24 に供給される。この場合、内側ポンプ電極 22 は接地電位（0 V）とされていることから、結局、主ポンプセル 26 の両電極 22 及び 24 間の電圧は、信号増幅系 46 からのポンプ電圧  $V_p1$  と等価とされる。

【0087】従って、主ポンプセル 26 は、第 1 室 18 に導入された被測定ガスのうち、酸素を前記ポンプ電圧  $V_p1$  のレベルに応じた量ほど汲み出す、あるいは汲み入れる。そして、前記一連の動作が繰り返されることによって、第 1 室 18 における酸素濃度は、所定レベルにフィードバック制御されることになる。

【0088】なお、前記内側ポンプ電極 22 及び外側ポンプ電極 24 を構成する多孔質サーメット電極は、Pt 等の金属と  $ZrO_2$  等のセラミックスとから構成されることになるが、被測定ガスに接触する第 1 室 18 内に配置される内側ポンプ電極 22 及び測定電極 30 は、測定ガス中の  $NO_x$  成分に対する還元能力を弱めた、あるいは還元能力のない材料を用いる必要があり、例えば  $La_2O_3$ 、 $CuO$  等のペロブスカイト構造を有する化合物、あるいは Au 等の触媒活性の低い金属とセラミックスのサーメット、あるいは Au 等の触媒活性の低い金属と Pt 族金属とセラミックスのサーメットで構成されることが好ましい。更に、電極材料に Au と Pt 族金属の合金を用いる場合は、Au 添加量を金属成分全体の 0.03 ~ 35 vol% にすることが好ましい。

【0089】一方、図 1 に示すように、前記第 2 の固体電解質層 10 f の下面のうち、前記第 2 室 20 を形づくる下面全面には、平面ほぼ矩形状の多孔質サーメット電極からなる補助ポンプ電極 50 が形成されており、該補助ポンプ電極 50 及び前記基準電極 32 並びに第 2 の固体電解質層 10 f、第 2 のスペーサ層 10 e 及び第 1 の固体電解質層 10 d にて補助的な電気化学的なポンプセル、即ち、補助ポンプセル 52 が構成されている。

【0090】そして、前記補助ポンプセル 52 における補助ポンプ電極 50 と基準電極 32 間に、外部の電源 54 を通じて所望の一定電圧  $V_p2$  を印加することにより、第 2 室 20 内の雰囲気中の酸素を基準ガス導入空間

12に汲み出せるようになっている。これによって、第2室20内の雰囲気酸素分圧が、実質的に被測定ガス成分( $\text{NO}_x$ )が還元又は分解され得ない状況下で、かつ目的成分量の測定に実質的に影響がない低い酸素分圧値とされる。この場合、第1室18における主ポンプセル26の働きにより、この第2室20内に導入される酸素の量の变化は、被測定ガスの変化よりも大幅に縮小されるため、第2室20における酸素分圧は精度よく一定に制御される。

【0091】また、この第1の実施の形態に係るガスセンサにおいては、前記第1の固体電解質層10dの上面のうち、前記第2室20を形づくる上面であって、かつ第2の拡散律速部16から離間した部分に、平面ほぼ矩形状の多孔質サーメット電極からなる検出電極56が形成され、この検出電極56を被覆するように、第3の拡散律速部58を構成するアルミナ膜が形成されている。そして、該検出電極56、前記基準電極32及び第1の固体電解質層10dによって、電気化学的なポンプセル、即ち、測定用ポンプセル60が構成される。

【0092】前記検出電極56は、被測定ガス成分たる $\text{NO}_x$ を還元し得る金属であるRhとセラミックスとしてのジルコニアからなる多孔質サーメットにて構成され、これにより、第2室20内の雰囲気中に存在する $\text{NO}_x$ を還元する $\text{NO}_x$ 還元触媒として機能するほか、前記基準電極32との間に、直流電源62を通じて一定電圧 $V_p$ 3が印加されることによって、第2室20内の雰囲気中の酸素を基準ガス導入空間12に汲み出せるようになっている。この測定用ポンプセル60のポンプ動作によって流れるポンプ電流 $I_p$ は、電流計64によって検出されるようになっている。

【0093】前記定電圧(直流)電源62は、第3の拡散律速部58により制限された $\text{NO}_x$ の流入下において、測定用ポンプセル60で分解時に生成した酸素のポンピングに対して限界電流を与える大きさの電圧を印加できるようになっている。

【0094】更に、この第1の実施の形態に係るガスセンサにおいては、第1及び第2の基板層10a及び10bにて上下から挟まれた形態において、外部からの給電によって発熱するヒータ66が埋設されている。このヒータ66は、酸素イオンの導伝性を高めるために設けられるもので、該ヒータ66の上下面には、基板層10a及び10bとの電気的絶縁を得るために、アルミナ等のセラミックス層68が形成されている。

【0095】前記ヒータ66は、図示するように、第1室18から第2室20の全体にわたって配設されており、これによって、第1室18及び第2室20がそれぞれ所定の温度に加熱され、併せて主ポンプセル26、酸素分圧検出セル34、補助ポンプセル52及び測定用ポンプセル60も所定の温度に加熱、保持されるようになっている。

【0096】そして、この第1の実施の形態に係るガスセンサにおいては、前記検出電極56を除く、例えば主ポンプセル26における内側ポンプ電極22と補助ポンプ電極50との間に挿入接続され、かつ両電極22及び50間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出回路70と、該インピーダンス検出回路70からの検出信号に基づいて前記ヒータ66への通電を制御するヒータ制御回路72を具備したヒータ制御系を有する。

【0097】前記インピーダンス検出回路70は、図3に示すように、前記内側ポンプ電極22と補助ポンプ電極50間に交流を供給する交流発生回路80と、前記電極22及び50間への交流供給によって該電極22及び50間に発生する該電極22及び50間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号 $V_f$ を検出する信号検出回路82を有する。

【0098】前記内側ポンプ電極22と補助ポンプ電極50とこれら両電極22及び50間に挟まれた第2の固体電解質層10fにて構成されるインピーダンス被測定体は、図4に示すように、等価的に抵抗 $R$ と容量 $C$ とが並列に接続された回路84で表すことができる。

【0099】従って、前記信号検出回路82としては、図4に示すように、前記電極22及び50間に発生する交流信号を前記電極22及び50間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号(以下、単に検出レベルと記す) $V_f$ に変換するフィルタ回路(例えばローパスフィルタやバンドパスフィルタなど)86にて構成することができる。

【0100】一方、ヒータ制御回路72は、同じく図4に示すように、ヒステリシス付きコンパレータ88と $pnp$ 型のパワートランジスタ90を有して構成されている。ヒステリシス付きコンパレータ88は、基準レベルを $E$ 、不感帯レベルを $V_H$ としたとき、前記フィルタ回路86から出力される電圧信号 $V_f$ の検出レベルが正側しきい値レベル $(E + V_H / 2)$ より高い場合に低レベル信号を出力し、前記検出レベルが負側しきい値レベル $(E - V_H / 2)$ より低い場合に高レベル信号を出力し、前記検出レベルが $-V_H / 2 \sim +V_H / 2$ の間にある場合に現在のレベルを維持する。

【0101】パワートランジスタ90は、そのコレクタ端子に電源 $V_{cc}$ が接続され、ベース端子に前記ヒステリシス付きコンパレータ88の出力側が接続され、エミッタ端子にヒータ66の一方の端子 $\phi_1$ が接続されている。なお、ヒータ66の他方の端子 $\phi_2$ は接地とされている。

【0102】前記パワートランジスタ90は、前記コンパレータ88から低レベル信号がベース端子に供給されることによってON動作し、これによって、電源 $V_{cc}$ からヒータ66に駆動電流が供給され、反対に、前記コンパレータ88から高レベル信号がベース端子に供給されることによってOFF動作し、これによって、ヒータ

66への駆動電流の供給が停止されるようになっている。

【0103】前記交流発生回路80にて発生する交流成分の周波数帯域としては、例えば300Hz～100kHz程度の範囲に設定されることが望ましく、1kHz～10kHzが最適である。また、前記交流成分の電圧としては、各電極が機能に支障のないレベル、例えば±500mV以下に設定されることが望ましく、±100～±300mV程度が最適である。

【0104】また、ヒータ制御回路72のコンパレータ88に供給される基準レベルEは、センサ素子内の被測定ガス温度が所定温度（所望の温度）となったときの検出レベルと同じレベルに設定される。

【0105】次に、この第1の実施の形態に係るガスセンサの動作について説明する。まず、ガスセンサの先端部側が外部空間に配置され、これによって、被測定ガスは、第1の拡散律速部14を通じて所定の拡散抵抗の下に、第1室18に導入される。この第1室18に導入された被測定ガスは、主ポンプセル26を構成する外側ポンプ電極24及び内側ポンプ電極22間に所定のポンプ電圧Vp1が印加されることによって引き起こされる酸素のポンピング作用を受け、その酸素分圧が所定の値、例えば $10^{-7}$ atmとなるように制御される。この制御は、図2に示すフィードバック制御系38を通じて行われる。

【0106】なお、第1の拡散律速部14は、主ポンプセル26にポンプ電圧Vp1を印加した際に、被測定ガス中の酸素が測定空間（第1室18）に拡散流入する量を絞り込んで、主ポンプセル26に流れる電流を抑制する働きをしている。

【0107】また、第1室18内においては、外部の被測定ガスによる加熱、更にはヒータ66による加熱環境下においても、内側ポンプ電極22や測定電極30にて雰囲気中のNOxが還元されない酸素分圧下の状態、例えば $\text{NO} \rightarrow 1/2 \text{N}_2 + 1/2 \text{O}_2$ の反応が起こらない酸素分圧下の状況が形成されている。これは、第1室18内において、被測定ガス（雰囲気）中のNOxが還元されると、後段の第2室20内でのNOxの正確な測定ができなくなるからであり、この意味において、第1室18内において、NOxの還元に関与する成分（ここでは、内側ポンプ電極22や測定電極30の金属成分）にてNOxが還元され得ない状況を形成する必要がある。具体的には、内側ポンプ電極22及び測定電極30にNOx還元性の低い材料、例えばAuとPtの合金を用いることで達成される。

【0108】そして、前記第1室18内のガスは、第2の拡散律速部16を通じて所定の拡散抵抗の下に、第2室20に導入される。この第2室20に導入されたガスは、補助ポンプセル52を構成する補助ポンプ電極50及び基準電極32間に所定の一定電圧Vp2が印加され

ることによって引き起こされる酸素のポンピング作用を受け、その酸素分圧が一定の低い酸素分圧値となるように微調整される。

【0109】前記第2の拡散律速部16は、前記第1の拡散律速部14と同様に、補助ポンプセル52に一定電圧Vp2を印加した際に、被測定ガス中の酸素が測定空間（第2室20）に拡散流入する量を絞り込んで、補助ポンプセル52に流れる電流を抑制する働きをしている。

【0110】また、第2室20内においても、第1室18内と同様に、外部の被測定ガスによる加熱やヒータ66による加熱環境下において、補助ポンプ電極50によって、雰囲気中のNOxが還元されない酸素分圧下の状態が形成されている。このため、前記補助ポンプ電極50においても、内側ポンプ電極22や測定電極30と同様に、測定ガス中のNOx成分に対する還元能力を弱めた、あるいは還元能力のない材料を用いる必要があり、例えばLa<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>等のペロブスカイト構造を有する化合物、あるいはAu等の触媒活性の低い金属とセラミックスのサーメット、あるいはAu等の触媒活性の低い金属とPt族金属とセラミックスのサーメットで構成されることが好ましい。更に、電極材料にAuとPt族金属の合金を用いる場合は、Au添加量を金属成分全体の0.03～35vol%にすることが好ましい。

【0111】そして、上述のようにして第2室20内において酸素分圧が制御された被測定ガスは、第3の拡散律速部58を通じて所定の拡散抵抗の下に、検出電極56に導かれることとなる。

【0112】ところで、前記主ポンプセル26を動作させて第1室18内の雰囲気中の酸素分圧をNOx測定に実質的に影響がない低い酸素分圧値に制御しようとしたとき、換言すれば、酸素分圧検出セル34にて検出される電圧が一定となるように、フィードバック制御系38を通じて可変電源28のポンプ電圧Vp1を調整したとき、被測定ガス中の酸素濃度が大きく、例えば0～20%に変化すると、通常、第2室20内の雰囲気及び検出電極56付近の雰囲気中の各酸素分圧は、僅かに変化ようになる。これは、被測定ガス中の酸素濃度が高くなると、測定電極30上の第1室18の幅方向及び厚み方向に酸素濃度分布が生じ、この酸素濃度分布が被測定ガス中の酸素濃度により変化するためであると考えられる。

【0113】しかし、この第1の実施の形態に係るガスセンサにおいては、第2室20に対して、その内部の雰囲気中の酸素分圧を常に一定に低い酸素分圧値となるように、補助ポンプセル52を設けるようにしているため、第1室18から第2室20に導入される雰囲気中の酸素分圧が被測定ガスの酸素濃度に応じて変化しても、前記補助ポンプセル52のポンプ動作によって、第2室20内の雰囲気中の酸素分圧を常に一定の低い値とすることがで

き、その結果、 $\text{NO}_x$  の測定に実質的に影響がない低い酸素分圧値に制御することができる。

【0114】そして、検出電極 56 に導入された被測定ガスの  $\text{NO}_x$  は、該検出電極 56 の周りにおいて還元又は分解されて、例えば  $\text{NO} \rightarrow 1/2 \text{N}_2 + 1/2 \text{O}_2$  の反応が引き起こされる。このとき、測定用ポンプセル 60 を構成する検出電極 56 と基準電極 32 との間には、酸素が第 2 室 20 から基準ガス導入空間 12 側に汲み出される方向に、所定の電圧  $V_{p3}$ 、例えば 430mV (700℃) が印加される。

【0115】従って、測定用ポンプセル 60 に流れるポンプ電流  $I_p$  は、第 2 室 20 に導かれる雰囲気中の酸素濃度、即ち、第 2 室 20 内の酸素濃度と検出電極 56 にて  $\text{NO}_x$  が還元又は分解されて発生した酸素濃度との和に比例した値となる。

【0116】この場合、第 2 室 20 内の雰囲気中の酸素濃度は、補助ポンプセル 52 にて一定に制御されていることから、例えば図 5 に示すように、前記測定用ポンプセル 60 に流れるポンプ電流  $I_p$  は、 $\text{NO}_x$  の濃度に比例することになる。また、この  $\text{NO}_x$  の濃度は、第 3 の拡散律速部 58 に制限される  $\text{NO}_x$  の拡散量に対応していることから、被測定ガスの酸素濃度が大きく変化したとしても、測定用ポンプセル 60 から電流計 64 を通じて正確に  $\text{NO}_x$  濃度を測定することが可能となる。

【0117】例えば、補助ポンプセル 52 にて制御された第 2 室 20 内の雰囲気中の酸素分圧が 0.02ppm で、被測定ガス中の  $\text{NO}_x$  成分たる  $\text{NO}$  濃度が 100ppm とすると、 $\text{NO}$  が還元又は分解されて発生する酸素濃度 50ppm と第 2 室 20 内の雰囲気中の酸素濃度 0.02ppm との和 (=50.02ppm) に相当するポンプ電流  $I_p$  が流れることとなる。従って、測定用ポンプセル 60 におけるポンプ電流値は、ほとんどが  $\text{NO}$  が還元又は分解された量を表し、そのため、被測定ガス中の酸素濃度に依存するようなこともない。

【0118】そして、前記動作が行われている間に、インピーダンス検出回路 70 を通じて、前記検出電極 56 を除く、内側ポンプ電極 22 と補助ポンプ電極 50 間のインピーダンスが電圧レベルとして検出され、更に、ヒータ制御回路 72 を通じて前記検出された電圧レベルに基づいてヒータ 66 への通電が制御される。

【0119】具体的には、被測定ガス温度が所定温度よりも低下して、前記電極 22 及び 50 間のインピーダンスが上昇すると、インピーダンス検出回路 70 のフィルタ回路 86 (図 4 参照) から出力される電圧信号  $V_f$  のレベルも高くなる。該電圧信号  $V_f$  のレベルがコンパレータ 88 の正側しきい値レベル ( $E + V_{th}/2$ ) より高くなると、ヒータ制御回路 72 におけるパワートランジスタ 90 のベース電極に低レベル信号が供給され、ヒータ 66 への通電が開始される。これにより、センサ素子内の被測定ガス温度は徐々に上昇することとなる。

【0120】反対に、被測定ガス温度が所定温度よりも上昇して、前記電極 22 及び 50 間のインピーダンスが下降すると、前記フィルタ回路 86 から出力される電圧信号  $V_f$  のレベルも低くなる。該電圧信号  $V_f$  のレベルがコンパレータ 88 の負側しきい値レベル ( $E - V_{th}/2$ ) より低くなると、ヒータ制御回路 72 におけるパワートランジスタ 90 のベース電極に高レベル信号が供給され、ヒータ 66 への通電が停止される。これにより、センサ素子内の測定ガス温度は徐々に低下することとなる。このようにヒータ 66 への通電制御をインピーダンス値に基づいて行うことにより、センサ素子内の温度を一定に保つことが可能となる。

【0121】ここで、1つの実験例を示す。この実験例は、前記第 1 の実施の形態に係るガスセンサと同じ構成を有する実施例と従来の定抵抗制御を用いた比較例を、高酸素濃度/高温ガス領域を有するディーゼルエンジンの排気ガス中に置き、これら実施例と比較例の出力特性が被測定ガス温度の高低によってどれだけ変動するかをみたものである。その実験結果を図 5 に示す。この図 5 に示す特性図は、下側の横軸に外部空間中の  $\text{NO}$  濃度、縦軸に電流計 64 での検出電流値、上側の横軸に測定時の被測定ガス温度をとって、実施例と比較例の出力特性をプロットしたものである。この図 5 において、●が実施例の出力特性を示し、■が比較例の出力特性を示す。

【0122】この実験結果から、比較例においては、被測定ガス温度が 600℃までの段階では、 $\text{NO}$  濃度に従った検出電流値を得ることができるが、600℃を超えた段階から検出電流値のシフト現象、具体的には、検出電流値が、温度の上昇に伴って所定ガス成分の濃度に基づく規定の検出電流値よりも上昇するという現象が生じていることがわかる。一方、実施例においては、800℃の段階まで、 $\text{NO}$  濃度に従った検出電流値が得られており、比較例よりも特性が向上していることがわかる。

【0123】このように、第 1 の実施の形態に係るガスセンサにおいては、従来の定抵抗制御方法と比較すると、ヒータリード部の抵抗値とヒータ発熱部の抵抗値との抵抗比率を厳密に作製する必要がなくなると共に、被測定ガス温度のヒータリード部の抵抗値増加による影響を回避することができる。

【0124】また、第 1 の実施の形態に係るガスセンサでは、検出電極 56 を除く電極間のインピーダンス値を検出するようにしているため、測定用ポンプセル 60 に印加される電圧  $V_{p3}$  がインピーダンス検出のために変動するということがなくなり、電流計 64 を通じて検出されるポンプ電流  $I_p$  のゆらぎやノイズの重畳等を抑圧することができる。

【0125】つまり、第 1 の実施の形態に係るガスセンサにおいては、被測定ガス温度による検出出力の変動を抑圧することができ、しかも、検出出力の高 S/N 比を実現させることができる。

【0126】特に、前記第1の実施の形態に係るガスセンサにおいては、内側ポンプ電極22と補助ポンプ電極50間のインピーダンスを検出するようにしているため、第1室18内の温度と第2室20内の温度をモニタしながらセンサ素子内を制御することが可能となり、検出電極56近傍の被測定ガス温度をより高精度に制御することができる。その結果、被測定ガス温度による検出出力（ポンプ電流値）の変動を有効に抑圧することができ、ガスセンサの検出精度の向上並びに信頼性の向上を実現させることができる。

【0127】次に、第1の実施の形態に係るガスセンサの3つの変形例について図6～図11を参照しながら説明する。なお、図1及び図4と対応するものについては同符号を付してその重複説明を省略する。

【0128】まず、第1の変形例に係るガスセンサは、前記第1の実施の形態に係るガスセンサ（図1及び図4参照）とほぼ同じ構成を有するが、ヒータ制御系の構成が以下の点で異なる。

【0129】即ち、ヒータ制御系は、図6に示すように、前記交流発生回路80のほかに、2つの検波回路（第1の検波回路100及び第2の検波回路102）と1つの差動増幅器104と、パワートランジスタ90のベースを駆動する信号（以下、単にベース駆動信号S<sub>p</sub>と記す）のパルス幅を変調するパルス幅変調回路130を有して構成されている。

【0130】具体的には、まず、交流発生回路80の供給ライン間に、抵抗Rと容量Cの並列回路84（内側ポンプ電極22と補助ポンプ電極50とその間の第2の固体電解質層10fとで構成されるインピーダンス被測定体の等価回路）に固定抵抗R<sub>a</sub>が直列接続されてなる第1の直列回路106と、可変抵抗R<sub>c</sub>に固定抵抗R<sub>b</sub>が直列接続されてなる第2の直列回路108がそれぞれ並列に接続されている。

【0131】そして、これら第1及び第2の直列回路106及び108への交流供給によって並列回路（素子インピーダンス）84に発生する交流信号S<sub>a</sub>が第1の検波回路100に供給されるように配線接続され、可変抵抗R<sub>c</sub>に発生する交流信号S<sub>b</sub>が第2の検波回路102に供給されるように配線接続され、更に、第1の検波回路100の出力V<sub>g</sub>と第2の検波回路102の出力V<sub>h</sub>が共に後段の差動増幅器104に供給されるように配線接続されている。図6では、差動増幅器104の非反転入力端子に第1の検波回路100の出力V<sub>g</sub>が入力され、反転入力端子に第2の検波回路102の出力V<sub>h</sub>が入力されるように配線接続されている例を示す。

【0132】可変抵抗R<sub>c</sub>の抵抗値は、第1の直列回路106として接続されるインピーダンス被測定体における電極間の正規のインピーダンスに応じた抵抗値に設定される。この例では、内側ポンプ電極22と補助ポンプ電極50間の正規のインピーダンスに応じた抵抗値に設

定される。

【0133】第1の検波回路100は、並列回路（素子インピーダンス）84に発生する交流信号S<sub>a</sub>を所定のゲインにて増幅する非反転増幅回路110と、該非反転増幅回路110からの出力S<sub>c</sub>を整流して、その出力レベルに応じた直流レベルの電圧信号V<sub>g</sub>に変換する整流回路112が接続されて構成されている。第2の検波回路102は、可変抵抗R<sub>c</sub>に発生する交流信号S<sub>b</sub>を所定のゲインにて増幅する非反転増幅回路114と、該非反転増幅回路114からの出力S<sub>d</sub>を整流して、その出力レベルに応じた直流レベルの電圧信号V<sub>h</sub>に変換する整流回路116が接続されて構成されている。固定抵抗R<sub>a</sub>と固定抵抗R<sub>b</sub>は共に同じ抵抗値とされている。

【0134】パルス幅変調回路130は、例えば底辺レベルが-5V、頂点レベルが+5Vの所定の三角波S<sub>t</sub>を生成して出力する三角波生成回路132と、該三角波生成回路132からの三角波S<sub>t</sub>と前記差動増幅器104からの出力信号V<sub>i</sub>とを比較するコンパレータ134を有して構成されている。なお、図6では、コンパレータ134の反転入力端子に差動増幅器104からの出力信号V<sub>i</sub>が入力され、非反転入力端子に三角波生成回路132からの三角波S<sub>t</sub>が入力されるように配線接続されている例を示す。

【0135】そして、前記差動増幅器104からの出力信号V<sub>i</sub>のレベルは、前記三角波S<sub>t</sub>に対する1つのしきい値を構成している。つまり、図7Aに示すように、出力信号V<sub>i</sub>のレベルが三角波S<sub>t</sub>の頂点レベル以上の場合、図7Bに示すように、コンパレータ134から常時低レベルのベース駆動信号が出力され、図8A及び図9Aに示すように、出力信号V<sub>i</sub>のレベルが三角波の底辺レベルより高く、頂点レベル未満である場合は、図8B及び図9Bに示すように、三角波S<sub>t</sub>のうち、前記出力信号V<sub>i</sub>のレベルよりも高い期間が高レベル、前記出力信号V<sub>i</sub>のレベルよりも低い期間が低レベルとされたベース駆動信号が出力されるようになっている。

【0136】また、図10Aに示すように、出力信号V<sub>i</sub>のレベルが三角波の底辺レベル以下の場合、図10Bに示すように、コンパレータ134から常時高レベルのベース駆動信号が出力されるようになっている。

【0137】次に、前記第1の変形例に係るガスセンサ、特にヒータ制御系の動作について説明する。まず、交流発生回路80を通じて、インピーダンス被測定体（並列回路）84を有する第1の直列回路106に交流が供給されると同時に、前記電極22及び50間の正規のインピーダンスに応じた抵抗値に設定された可変抵抗R<sub>c</sub>を有する第2の直列回路108にも交流が供給される。

【0138】前記第1の直列回路106への交流供給によって、並列回路84（素子インピーダンス）に発生する交流信号S<sub>a</sub>が第1の検波回路100に供給され、直



流化された電圧信号  $V_g$  に変換されて出力される。一方、前記第 2 の直列回路 108 への交流供給によって、可変抵抗  $R_c$  に発生する交流信号  $S_b$  が第 2 の検波回路 102 に供給され、直流化された電圧信号（参照信号） $V_h$  に変換されて出力される。

【0139】前記第 1 の検波回路 100 から出力される電圧信号  $V_g$  と前記第 2 の検波回路 102 から出力される参照信号  $V_h$  は共に差動増幅器 104 に供給され、該差動増幅器 104 は、前記電圧信号  $V_g$  と参照信号  $V_h$  との差分をとって偏差信号  $V_i$  として出力する。

【0140】前記差動増幅器 104 から出力される偏差信号  $V_i$ 、特にその電圧レベルは、後段のパルス幅変調回路 130 におけるコンパレータ 134 において、三角波生成回路 132 からの三角波  $S_t$  と比較される。

【0141】まず、暖気期間にあっては、センサ素子温度と被測定ガス温度との温度差が非常に大きく、前記電極 22 及び 50 間のインピーダンスが非常に大きくなっていることから、図 7A に示すように、偏差信号  $V_i$  のレベルは三角波  $S_t$  の頂点レベルを超え、ベース駆動信号  $S_p$  は常時低レベルとなる。その結果、パワートランジスタ 90 は常時 ON 状態となり、ヒータ 66 に対して連続通電が行われる。

【0142】ヒータ 66 の連続通電によって、センサ素子温度が上昇すると、偏差信号  $V_i$  のレベルが三角波  $S_t$  の頂点レベル未満となり、前記偏差信号  $V_i$  のレベルは、被測定ガス温度の高低に応じて前記底辺レベル～頂点レベルの間を変動することになる（図 8A～図 9B 参照）。

【0143】そして、被測定ガス温度が所定温度よりも下降して、前記電極 22 及び 50 間のインピーダンスが上昇すると、図 8A 及び図 8B に示すように、インピーダンス検出回路 70 の差動増幅器 104 から出力される偏差信号  $V_i$  のレベルも高くなり、その分、ベース駆動信号  $S_p$  の低レベルのパルス幅が広がる。その結果、ヒータ 66 への通電時間が長くなり、センサ素子内の被測定ガス温度は徐々に上昇することとなる。

【0144】反対に、被測定ガス温度が所定温度よりも上昇して、前記電極 22 及び 50 間のインピーダンスが下降すると、図 9A 及び図 9B に示すように、インピーダンス検出回路 70 の差動増幅器 104 から出力される偏差信号  $V_i$  のレベルも低くなり、その分、ベース駆動信号  $S_p$  の低レベルのパルス幅が狭くなる。その結果、ヒータ 66 への通電時間が短くなり、センサ素子内の被測定ガス温度は徐々に下降することになる。

【0145】このようにヒータ 66 への通電制御をインピーダンス値に基づいて行うことにより、センサ素子内の温度を一定に保つことが可能となる。

【0146】この第 1 の変形例に係るガスセンサにおいては、目標のインピーダンス値を抵抗（可変抵抗  $R_c$ ）にて設定することができるため、交流信号を電圧信号に

変換する第 1 及び第 2 の検波回路 100 及び 102 として、オペアンプを用いた高次のローパスフィルタやバンドパスフィルタのような複雑な回路構成を有する回路デバイスをを用いる必要がなくなり、簡単な例えば差動増幅器、ダイオードを用いた整流回路や 1 次の CR ローパスフィルタを用いることで実現でき、回路構成の簡略化及び消費電力の低減を有効に達成させることができる。

【0147】次に、第 2 の変形例に係るガスセンサについて図 11 を参照しながら説明する。この第 2 の変形例に係るガスセンサは、図 11 に示すように、前記第 1 の実施の形態に係るガスセンサ（図 4 参照）とほぼ同じ構成を有するが、ヒータ制御回路 72 におけるヒステリシス付きコンパレータ 88 の代わりに差動増幅器 118 が接続されている点で異なる。後段のパワートランジスタ 90 は、トランジスタの飽和領域と遮断領域を使ったデジタル的なスイッチング回路ではなく、飽和領域、動作領域及び遮断領域を使用したアナログ的な電流制御回路として機能する。

【0148】即ち、この第 2 の変形例に係るガスセンサにおいては、ヒータ 66 への通電を停止せずに、前記電極 22 及び 50 間のインピーダンスの変化に基づいて連続的に電流供給量を制御することによって、センサ素子内の被測定ガス温度を制御する。この場合、ヒータ 66 への通電開始時においてみられるような極度な電力消費を抑制することができる。

【0149】この例では、差動増幅器 118 の反転端子に差動増幅器 104 からの偏差信号  $V_i$  が供給され、非反転端子に基準レベル  $E_a$  が供給されるように配線接続された場合を示す。ここで、基準レベル  $E_a$  は、差動増幅器 104 からの偏差信号  $V_i$  のレベル（偏差レベル）と比較する必要から、図 4 の基準レベル  $E$  とは異なるレベルに設定される。具体的には、センサ素子内の被測定ガス温度が所定温度（所望の温度）となったときの偏差レベルと同じレベルに設定される。

【0150】次に、第 3 の変形例に係るガスセンサは、ここでは図示しないが、ヒータ制御系のインピーダンス検出回路 70 として、第 1 の実施の形態に係るガスセンサにおけるインピーダンス検出回路、即ちフィルタ回路 86 を使用したインピーダンス検出回路 70 とし、ヒータ制御回路 72 として第 2 の変形例に係るガスセンサにおけるヒータ制御回路、即ち、差動増幅器 118 を使用したヒータ制御回路 72 とした構成を有する。

【0151】この場合、第 1 の実施の形態に係るガスセンサの効果と第 2 の変形例に係るガスセンサの効果を併せ持ったガスセンサを得ることができる。

【0152】次に、第 2 の実施の形態に係るガスセンサについて図 12 を参照しながら説明する。なお、図 1 と対応するものについては同符号を付してその重複説明を省略する。

【0153】この第 2 の実施の形態に係るガスセンサ

10

20

30

40

50



は、図 12 に示すように、前記第 1 の実施の形態に係るガスセンサ（図 1 参照）とほぼ同様の構成を有するが、主ポンプセル 26 に対するフィードバック制御系 38 の構成が以下の点で異なる。

【0154】即ち、このフィードバック制御系 38 は、前記基準電極 32 と内側ポンプ電極 22 との間の両端電圧  $V_j$  を基準電圧  $V_r$  と比較してその差分を所定のゲインにて増幅して出力する差動増幅器 120 を設け、該差動増幅器 120 からの出力電圧（差分電圧）を主ポンプセル 26 へのポンプ電圧  $V_{p1}$  として外側ポンプ電極 24 と内側ポンプ電極 22 間に印加するように配線接続されて構成されている。この例においては、内側ポンプ電極 22 は接地とされている。

【0155】次に、前記第 2 の実施の形態に係るガスセンサの動作について説明すると、まず、被測定ガスが第 1 の拡散律速部 14 を通じて第 1 室 18 に導入され、そのときの主ポンプセル 26 における内側ポンプ電極 22 と基準ガス導入空間 12 側に形成された基準電極 32 との間の両端電圧  $V_j$  が差動増幅器 120 の例えば反転端子に印加される。この差動増幅器 120 においては、反転端子に供給される前記両端電圧  $V_j$  と非反転端子に供給される基準電圧  $V_r$  との差分がとられ、その出力端子からは、前記差分を所定のゲインにて増幅された電圧  $V_{p1}$  が取り出されることとなる。この出力電圧  $V_{p1}$  は、主ポンプセル 26 における外側ポンプ電極 24 に印加されるが、この場合、内側ポンプ電極 22 は接地電位（0V）とされていることから、結局、主ポンプセル 26 の両電極 22 及び 24 間の電圧は、前記差動増幅器 120 からの出力電圧  $V_{p1}$  と等価とされる。

【0156】従って、主ポンプセル 26 は、第 1 室 18 に導入された被測定ガスのうち、酸素を前記出力電圧  $V_{p1}$  のレベルに応じた量ほど汲み出す又は汲み入れるポンプとしての機能を果たす。そして、前記一連の動作が繰り返されることによって、第 1 室 18 における酸素濃度は、所定レベルにフィードバック制御されることとなる。

【0157】この場合、差動増幅器 120 の反転端子に印加される両端電圧（測定電圧） $V_j$  を、主ポンプセル 26 における内側ポンプ電極 22 と基準ガス導入空間 12 における基準電極 32 との間の両端電圧としている。そのため、主ポンプセル 26 による酸素の汲み出し量が増加して、第 1 室 18 内における酸素の濃度が変化すると、主ポンプセル 26 における内側ポンプ電極 22 と基準電極 32 間の両端電圧が時間遅れなく変化する（リアルタイムで変化する）ことになり、前記フィードバック制御系 38 での発振現象を有効に抑えることができる。

【0158】なお、前記フィードバック制御系 38 においては、内側ポンプ電極 22 と基準電極 32 間の両端電圧  $V_j$  が前記基準電圧  $V_r$  と同じレベルに収束されるように前記制御電圧（出力電圧  $V_{p1}$ ）がフィードバック

制御されることとなる。

【0159】この第 2 の実施の形態に係るガスセンサにおいても、前記第 1 の実施の形態に係る第 1 ～第 3 の変形例の構成を採用することができる。

【0160】次に、第 3 の実施の形態に係るガスセンサについて図 13 を参照しながら説明する。なお、図 1 と対応するものについては同符号を付してその重複説明を省略する。

【0161】この第 3 の実施の形態に係るガスセンサは、図 13 に示すように、前記第 1 の実施の形態に係るガスセンサ（図 1 参照）とほぼ同様の構成を有するが、測定用ポンプセル 60 に代えて、酸素分圧検出セル 122 が設けられている点で異なる。

【0162】この酸素分圧検出セル 122 は、第 1 の固体電解質層 10d の上面のうち、前記第 2 室 20 を形づくる上面に形成された検出電極 124 と、前記第 1 の固体電解質層 10d の下面に形成された前記基準電極 32 と、これら両電極 124 及び 32 間に挟まれた第 1 の固体電解質層 10d によって構成されている。

【0163】この場合、前記酸素分圧検出セル 122 における検出電極 124 と基準電極 32 との間に、検出電極 124 の周りの雰囲気と基準電極 32 の周りの雰囲気との間の酸素濃度差に応じた起電力（酸素濃度電池起電力）が発生することとなる。

【0164】従って、前記検出電極 124 及び基準電極 32 間に発生する起電力を電圧計 126 にて測定することにより、検出電極 124 の周りの雰囲気中の酸素分圧、換言すれば、被測定ガス成分（ $\text{NO}_x$ ）の還元又は分解によって発生する酸素によって規定される酸素分圧が電圧値として検出される。

【0165】ここで、図 14 の特性図を参照しながら前記第 3 の実施の形態に係るガスセンサの検出原理を説明する。

【0166】まず、外部空間の  $\text{NO}$  濃度が 0 ppm のとき、フィードバック制御系 38 を通じて第 1 室 18 内の雰囲気中の酸素濃度を主ポンプセル 26 におけるポンプ電圧  $V_{p1}$  が 300 mV に相当する値（ $10^{-7} \text{atm}$ ）に制御すると、第 2 室 20 内の雰囲気中の酸素濃度も  $10^{-7} \text{atm}$  となり、前記第 2 室 20 用の酸素分圧検出セル 122 における検出電極 124 と基準電極 32 の間に発生する起電力は約 460 mV となる。

【0167】外部空間の  $\text{NO}$  濃度が徐々に増加すると、前記検出電極 124 も上述した測定用ポンプセル 60

（図 1 参照）における検出電極 56 と同様に、 $\text{NO}_x$  還元触媒として機能することから、前記検出電極 124 では、 $\text{NO}$  の還元又は分解反応が引き起こされ、検出電極 124 の周りの雰囲気中の酸素濃度が上がり、これによって、検出電極 124 と基準電極 32 間に発生する起電力が徐々に低下することとなる。図 14 の特性図では、 $\text{NO}$  濃度が例えば 300 ppm、500 ppm、100

0 ppm というように増加するにつれて、電圧計 126 にて検出される起電力は、300 mV、250 mV、200 mV というように徐々に低下している。

【0168】そして、この起電力の低下の度合いが、NO 濃度を表すことになる。つまり、前記検出電極 124 と基準電極 32 と第 1 の固体電解質層 10d とから構成される第 2 室 20 用の酸素分圧検出セル 122 から出力される起電力が、被測定ガス中の NO 濃度を表すことになる。

【0169】この第 3 の実施の形態に係るガスセンサにおいても、前記第 1 の実施の形態に係るヒータ制御系と同様のヒータ制御系、即ち、インピーダンス検出回路 70 とヒータ制御回路 72 を有する。

【0170】従って、この第 3 の実施の形態に係るガスセンサにおいては、前記第 1 の実施の形態に係るガスセンサと同様に、ヒータリード部の抵抗値とヒータ発熱部の抵抗値との抵抗比率を厳密に作製する必要性がなくなると共に、被測定ガス温度のヒータリード部の抵抗値増加による影響を回避することができる。

【0171】また、内側ポンプ電極 22 と補助ポンプ電極 50 間のインピーダンス値を検出するようにしているため、酸素分圧検出セル 122 にて発生する起電力がインピーダンス検出のために変動するということがなくなり、電圧計 126 を通じて検出される起電力（電圧）のゆらぎやノイズの重畳等を抑圧することができる。これによって、被測定ガス温度による検出出力の変動を抑圧することができ、しかも、検出出力の高 S/N 比を実現させることができる。

【0172】しかも、検出電極 124 近傍の被測定ガス温度をより高精度に制御することができ、被測定ガス温度による検出出力（起電力）の変動を有効に抑圧することができる。これは、ガスセンサの検出精度の向上並びに信頼性の向上の実現につながる。

【0173】この第 3 の実施の形態に係るガスセンサにおいても、前記第 1 の実施の形態に係る第 1 ～ 第 3 の変形例の構成を採用することができる。

【0174】次に、第 4 の実施の形態に係るガスセンサについて図 15 を参照しながら説明する。

【0175】この第 4 の実施の形態に係るガスセンサは、前記第 3 の実施の形態に係るガスセンサと同様の構成を有するが、主ポンプセル 26 に対するフィードバック制御系 38 の構成が前記第 2 の実施の形態に係るガスセンサと同様の構成、即ち、前記基準電極 32 と内側ポンプ電極 22 との間の両端電圧  $V_j$  を基準電圧  $V_r$  と比較してその差分を所定のゲインにて増幅して出力する差動増幅器 120 が設けられ、該差動増幅器 120 からの出力電圧（差分電圧）を主ポンプセル 26 へのポンプ電圧  $V_{p1}$  として外側ポンプ電極 24 と内側ポンプ電極 22 間に印加するように配線接続されて構成されている点で異なる。

【0176】この第 4 の実施の形態に係るガスセンサにおいては、前記第 3 の実施の形態に係るガスセンサと同様の効果を有するほか、前記第 2 の実施の形態に係るガスセンサの効果、即ち、フィードバック制御系 38 での発振現象を有効に抑えることができるという効果を奏する。

【0177】前記第 1 ～ 第 4 の実施の形態に係るガスセンサ（各種変形例を含む）においては、インピーダンス検出回路 70 にて内側ポンプ電極 22 と補助ポンプ電極 50 間のインピーダンスを検出してセンサ素子内の被測定ガス温度を制御するようにしたが、以下に示す電極間のインピーダンスを検出してセンサ素子内の被測定ガス温度を制御するようにしてもよい。

【0178】(1) 外側ポンプ電極 24 と補助ポンプ電極 50 間

(2) 基準電極 32 と補助ポンプ電極 50 間

(3) 内側ポンプ電極 22 と検出電極（56 又は 124）間

(4) 外側ポンプ電極 24 と検出電極（56 又は 124）間

(5) 内側ポンプ電極 22 と基準電極 32 間（図 16 参照）

(6) 外側ポンプ電極 24 と基準電極 32 間（図 17 参照）

特に、(5) 及び (6) の場合においては、図 16 及び図 17 に示すように、第 1 の固体電解質層 10d の下面に形成される基準電極 32 を、主ポンプセル 26 に対応する位置（主ポンプセル 26 の下方の位置）まで延長させて形成する、あるいはここでは図示しないが、基準電極 32 を、第 1 の固体電解質層 10d の下面のうち、主ポンプセルに対応する位置に形成することがインピーダンスの検出精度を向上させる上で好ましい。

【0179】上述した第 1 ～ 第 4 の実施の形態に係るガスセンサにおいては、被測定ガス成分として NOx が対象とされているが、被測定ガス中に存在する酸素の影響を受ける NOx 以外の結合酸素含有ガス成分、例えば H<sub>2</sub>O や CO<sub>2</sub> 等の測定にも有効に適用することができる。

【0180】なお、この発明は、上述の実施の形態に限らず、この発明の要旨を逸脱することなく種々の構成を採り得ることはもちろんである。

【0181】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係るガスセンサによれば、外部空間に接する固体電解質と該固体電解質の内外に形成された内側ポンプ電極及び外側ポンプ電極とを有し、前記外部空間から導入された被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記電極間に印加される制御電圧に基づいてポンピング処理（汲み入れ、汲み出し）する主ポンプ手段と、固体電解質と該固体電解質に形成された検出電極と基準電極とを有し、前記主ポン

プ手段にてポンピング処理された後の被測定ガスに含まれる所定のガス成分を、前記検出電極と前記基準電極間に印加される電圧に基づいてポンピング処理する測定用ポンプ手段と、前記測定用ポンプ手段によりポンピング処理される前記所定のガス成分の量に応じて生じるポンプ電流を検出する電流検出手段と、少なくとも前記主ポンプ手段及び測定用ポンプ手段を所定の温度に加熱するヒータと、前記主ポンプ手段側の電極と前記測定用ポンプ手段側の電極間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出手段と、前記インピーダンス検出手段にて検出されたインピーダンス値に基づいて前記ヒータへの通電を制御するヒータ制御手段を設けるようにしている。

【0182】このため、被測定ガス温度による検出出力の変動を抑圧することができ、しかも、検出出力の高S/N比を実現させることができるという効果が達成される。特に、前記主ポンプ手段側の電極と前記測定用ポンプ手段側の電極間のインピーダンスを検出するようにしているため、センサ素子における主ポンプ手段側の温度と測定用ポンプ手段（あるいは濃度検出手段）側の温度をモニタすることができ、センサ素子内の温度を高精度に制御することができる。

【0183】また、前記インピーダンス検出手段にて検出される電極間のインピーダンスとして、補助ポンプ手段における補助ポンプ電極と基準電極間のインピーダンスや、主ポンプ手段における内側ポンプ電極と補助ポンプ電極間のインピーダンスを検出するようにすれば、センサ素子内における検出電極近傍の被測定ガス温度を高精度に制御することができ、検出出力の出力変動を更に抑えることができる。

【0184】また、前記交流発生回路を、前記電極間のほか、該電極間の正規のインピーダンスに応じた抵抗値に設定された抵抗にも交流が供給されるように配線接続し、前記信号検出回路として、前記電極間に発生する交流信号を前記電極間のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号に変換する第1の検波回路と、前記抵抗に発生する交流信号を該抵抗のインピーダンスに応じたレベルの電圧信号に変換して参照信号とする第2の検波回路と、前記第1の検波回路から出力される電圧信号と前記第2の検波回路から出力される参照信号との差分をとり偏差信号として出力する差分回路を設けるようにすれば、制御回路系の簡略化を達成することができるという特有の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に係るガスセンサを示す構成図である。

【図2】第1の実施の形態に係るガスセンサの主ポンプセルに対するフィードバック制御系を示す構成図である。

【図3】第1の実施の形態に係るガスセンサのヒータ制御系を示す構成図である。

【図4】ヒータ制御系の具体例を示す回路図である。

【図5】第1の実施の形態に係るガスセンサと同じ構成を有する実施例と従来の定抵抗制御法を用いた比較例における出力特性の被測定ガス温度依存性を示す特性図である。

【図6】第1の実施の形態に係るガスセンサの第1の変形例、特にヒータ制御系の構成を示す回路図である。

【図7】図7Aは偏差信号のレベルが三角波の頂点レベルよりも高い場合を示す波形図であり、図7Bはそのときのベース駆動信号を示す波形図である。

【図8】図8Aは偏差信号のレベルが三角波の midpoint レベルから頂点レベルの間にある場合を示す波形図であり、図8Bはそのときのベース駆動信号を示す波形図である。

【図9】図9Aは偏差信号のレベルが三角波の底辺レベルから midpoint レベルの間にある場合を示す波形図であり、図9Bはそのときのベース駆動信号を示す波形図である。

【図10】図10Aは偏差信号のレベルが三角波の底辺レベルよりも低い場合を示す波形図であり、図10Bはそのときのベース駆動信号を示す波形図である。

【図11】第1の実施の形態に係るガスセンサの第2の変形例、特にヒータ制御系におけるヒータ制御回路の構成を示す回路図である。

【図12】第2の実施の形態に係るガスセンサを示す構成図である。

【図13】第3の実施の形態に係るガスセンサを示す構成図である。

【図14】第3の実施の形態に係るガスセンサの出力特性を示す特性図である。

【図15】第4の実施の形態に係るガスセンサを示す構成図である。

【図16】内側ポンプ電極と基準電極間のインピーダンスを検出する場合の構成例を示す図である。

【図17】外側ポンプ電極と基準電極間のインピーダンスを検出する場合の構成例を示す図である。

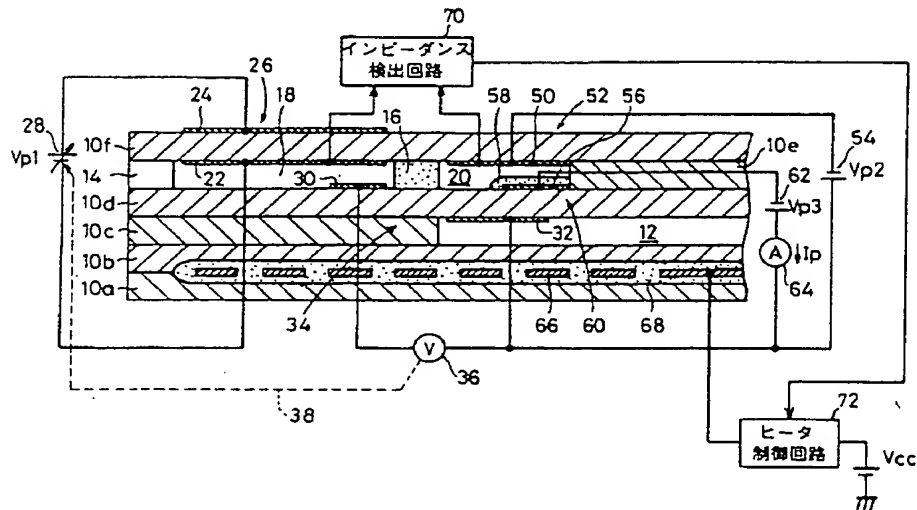
【符号の説明】

12…基準ガス導入空間	18…第1室
20…第2室	22…内側ポンプ電極
24…外側ポンプ電極	26…主ポンプセル
30…測定電極	32…基準電極
34…酸素分圧検出セル	38…フィードバック制御系
50…補助ポンプ電極	52…補助ポンプセル
56…検出電極	60…測定用ポンプセル
66…ヒータ	70…インピーダンス検出回路

33	34
7 2…ヒータ制御回路	9 0…パワートランジスタ
8 2…信号検出回路	1 0 0…第 1 の検波回路
8 4…インピーダンス被測定体（並列回路）	1 0 2…第 2 の検波回路
8 6…フィルタ回路	1 0 4、1 1 0、1 1 4、1 1 8、1 2 0…差動増幅器
付きコンパレータ	R c…可変抵抗

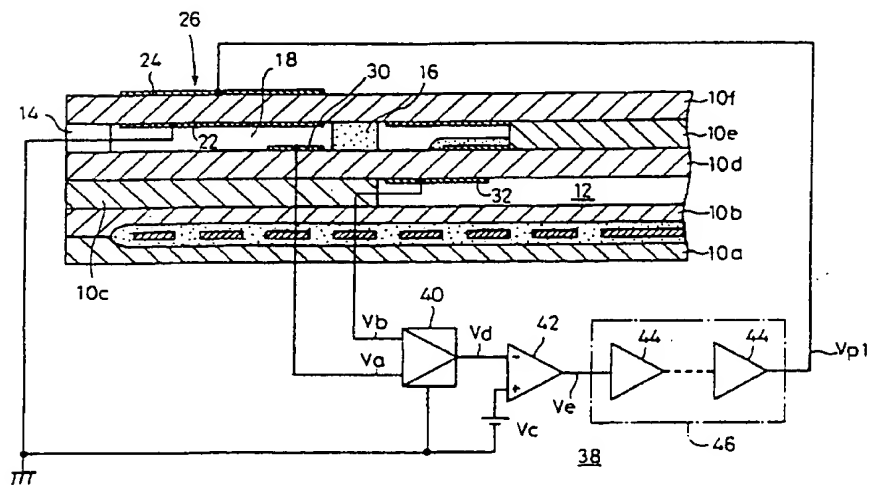
【圖 1】

FIG. 1



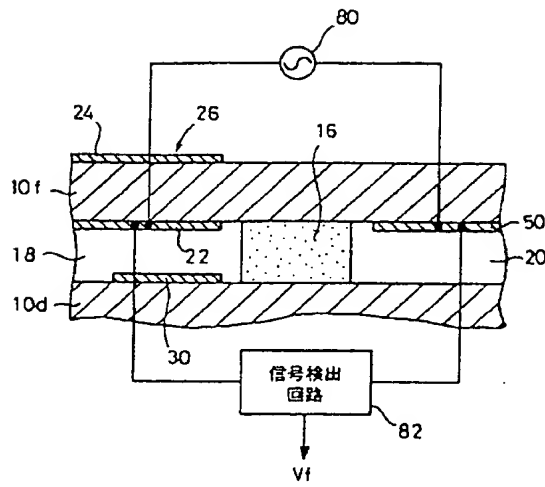
【圖 2】

FIG. 2



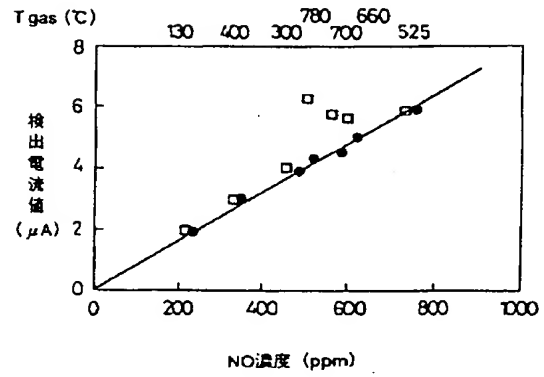
【図 3】

FIG. 3



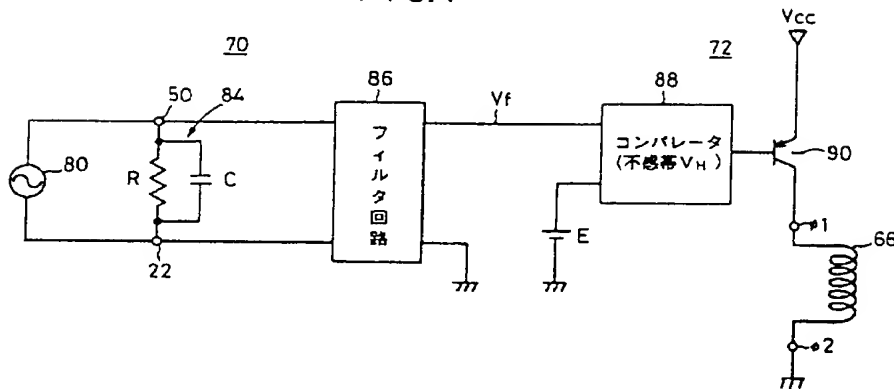
【図 5】

FIG. 5



【図 4】

FIG. 4



【図 7】

FIG. 7A

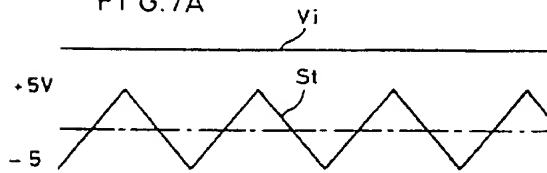
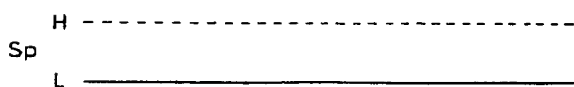


FIG. 7B



【図 8】

FIG. 8A

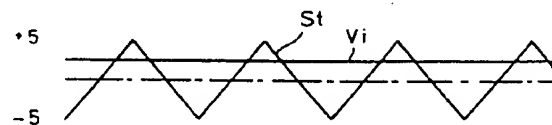
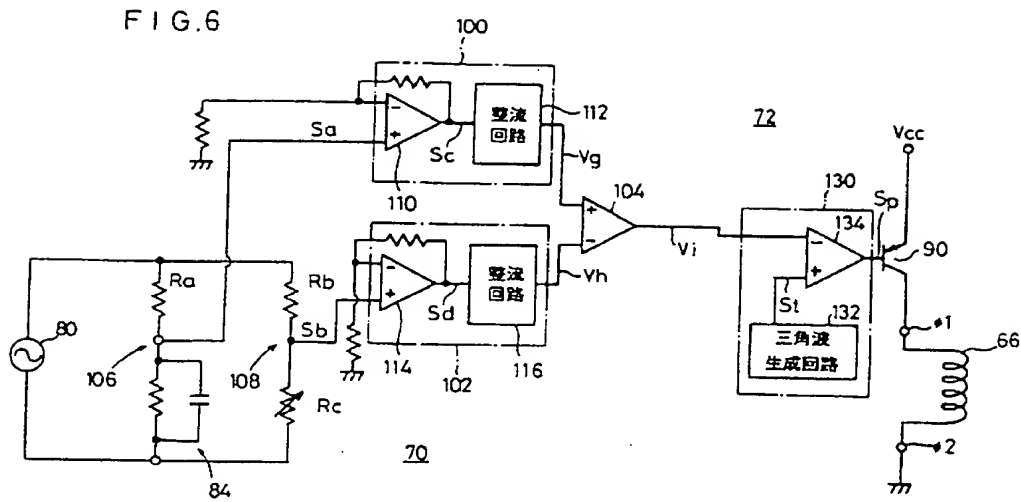


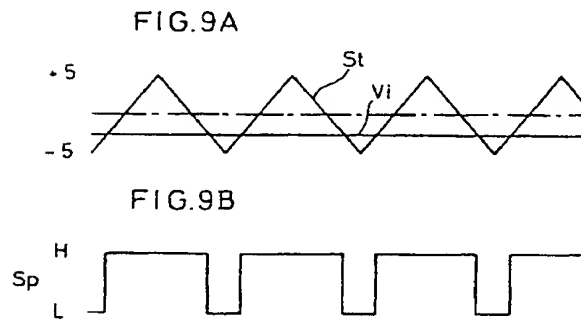
FIG. 8B



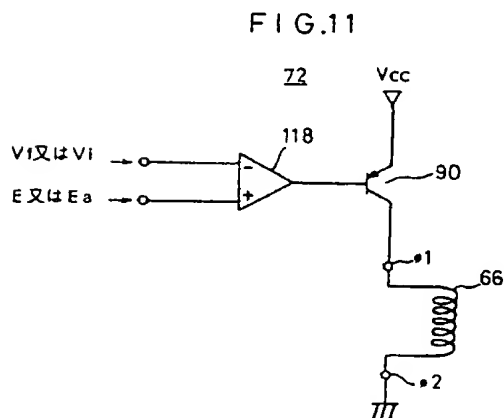
【図6】



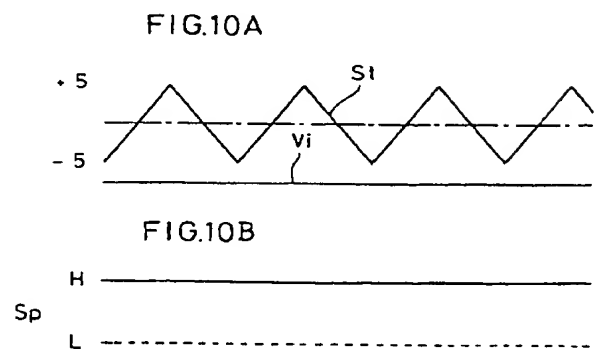
【図9】



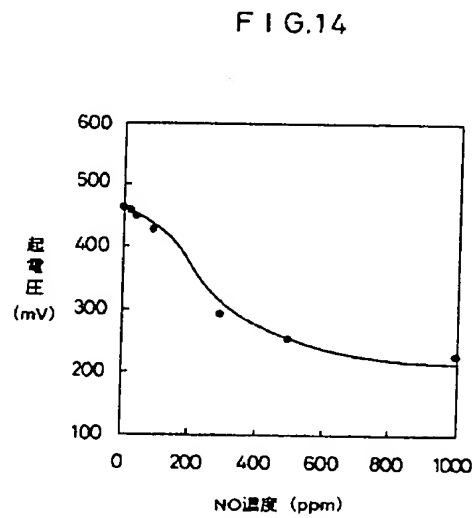
【図11】



【図10】

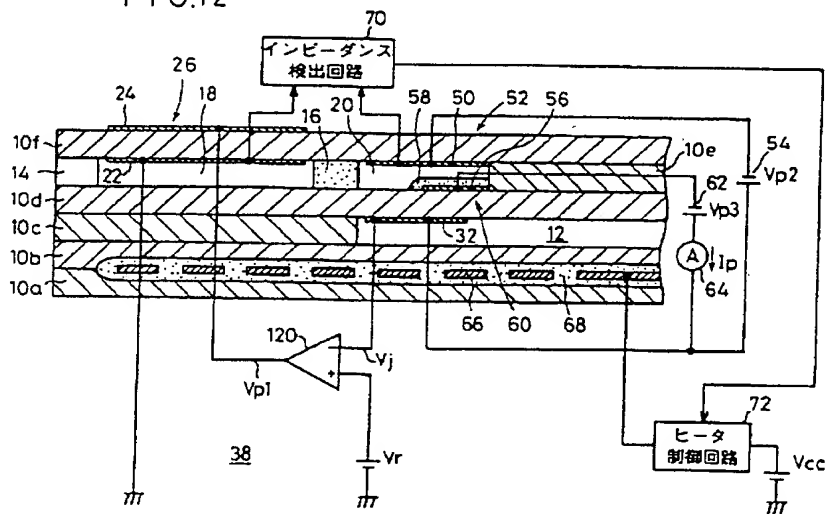


【図14】



【図12】

FIG.12



【図13】

FIG.13

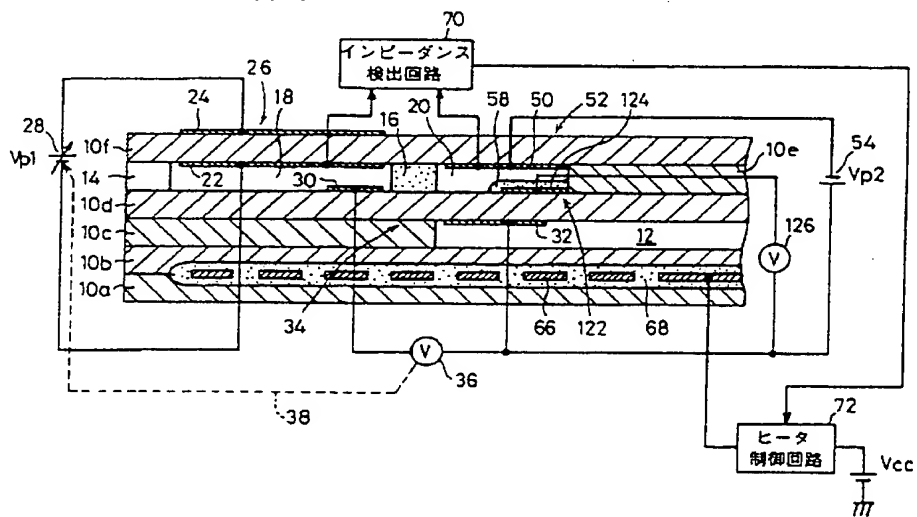




FIG. 15

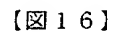
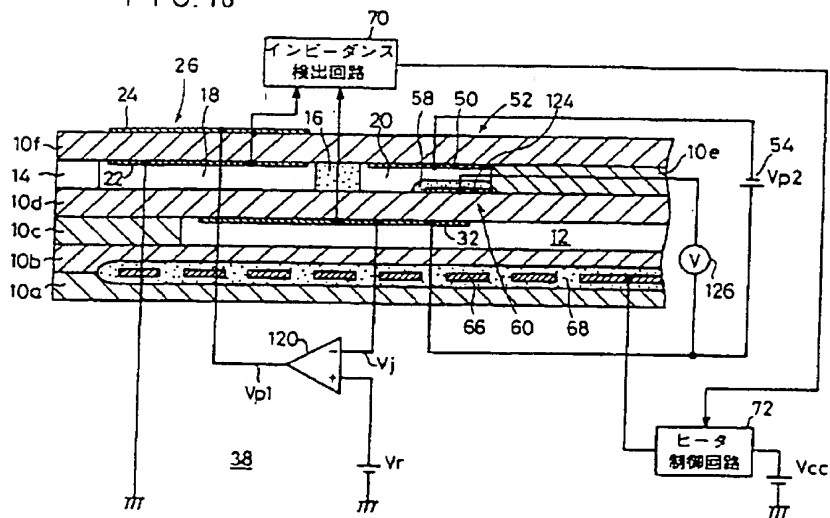


FIG. 16



【図 17】

